



תמונת מצב של הניסיון בעולם  
ומשמעות לישראל

## **מחקר וכתובה**

אביאל ילינק

## **צוות היגוי**

רן אברהם, מנהל אגף בנייה ירוקה תקינה ותיווי, המשרד להגנת הסביבה  
יקיר למדן, מנהל תחום בנייה ירוקה, המשרד להגנת הסביבה  
צפיר גדרון, מנהל תחום תקינה ותיווי, המשרד להגנת הסביבה  
עומר לביא, מחלקת בנייה ירוקה, המועצה הישראלית לבנייה ירוקה  
איריס גבעולי, מחלקת בנייה ירוקה, המועצה הישראלית לבנייה ירוקה  
נחי ברוט, שותף ומנכ"ל, KVS  
דן שאיוב, מנהל פרויקטי קיימות, המרכז להתייעלות במשאבים

## תוכן עניינים

4	תקציר מנהלים	.1
9	מבוא	.2
10	מתודולוגיה להערכת מחזור החיים של מבנים	.3
15	תקינה בינ"ל	.4
20	מדיניות רגולטיבית בעולם	.5
29	התייחסות בכלי מדידה לבנייה ירוקה	.6
38	כלי תוכנה להערכת ההשפעות הסביבתיות במחזור חיים של מבנים	.7
41	סוגיות בהערכת מחזור חיים של מבנים	.8
47	הפרקטיקה בישראל	.9
49	מסקנות ומשמעויות עבור ישראל	.10
55	ביבליוגרפיה	.11

על מנת לתמוך בהפחתת ההשפעה הסביבתית ממבנים, ובפרט צמצום הפחמן הגלום בהם, מקודמת בשנים האחרונות מתודולוגיה להערכת ההשפעות הסביבתיות של מבנים במהלך מחזור חייהם (Whole Building Life Cycle Analysis - WBLCA). זאת, כבסיס לשיפור היכולת של צוותי התכנון והבנייה לבצע אופטימיזציה סביבתית ולצמצם את ההשפעות הסביבתיות בשלבי הבנייה, התפעול, התחזוקה וסוף החיים.

מחקר זה מציג 'תמונת מצב' עדכנית של הניסיון בעולם בהטמעת גישת ה-WBLCA והשימוש בה, תוך הסבר של המתודולוגיה, בחינת הסביבה הרגולטיבית המתפתחת, בחינת אופן ההטמעה של גישה זו בכלי הערכה לבנייה ירוקה, הצגת כלי העזר בהם נעשה שימוש ובחינה ראשונית של יישומה בישראל. מתוך כך, מתבצע גם זיהוי ומיפוי של סוגיות מרכזיות אשר עולות בספרות המחקר ובספרות המקצועית בעולם, וכן התייחסות ליתרונות ומגבלות הגישה ולאמצעי מדיניות שיסייעו בהטמעתה בישראל.

מהמחקר עולה כי יש לראות במתודולוגיה להערכת מחזור חיים של מבנה כשיטת ניתוח סדורה המאפשרת לחשוף, להבין ולפעול לצמצום ההשפעה הסביבתית של המבנה בשלבים שונים של מחזור חייו, לזהות 'נקודות חמות', וכאמצעי נוסף ויעיל למדי להשוות בין ההשפעות הסביבתיות של חלופות תכנון שונות. יחד עם זאת, על אף שמתודולוגיה זו זוכה לפופולריות הולכת וגדלה בעולם, ועל אף יתרונותיה (הנסקרים בעבודה זו), היא אינה מהווה כרגע תחליף לרגולציה הסביבתית הקיימת או לבחינה של המבנה בזוויות סביבתיות מגוונות, כפי שנעשה על ידי כלי מדידה לבנייה ירוקה. זאת משום שתהליך ההערכה כולל שימוש בכמות גדולה של נתונים ממקורות שונים, ובמסגרתו מונחות שלל הנחות לגבי מצבים או שיקולים עתידיים המשפיעות על תוצאות הניתוח. ניתן להניח כי הפופולריות הגוברת של המתודולוגיה תביא להמשך ההתפתחות שלה בעתיד, להגעתה לרמת בשלות גבוהה יותר ולצמצום אי ודאויות הקשורות לתוצאות.

### 1.1 תקינה בינ"ל

פרקטיקת ה-LCA מעוגנת בתקני ISO 14040 ו-ISO 14044 אשר קובעים עקרונות, מסגרת פעולה, דרישות והנחיות, ובתקני ISO 14025 ו-ISO 21930 הקובעים מסגרת ודרישות להכנת הצהרות סביבתיות למוצרים (EPD). התקן האירופאי EN 15978 הוא הראשון המגדיר מתודולוגית חישוב פרטנית להערכת הביצועים הסביבתיים של מבנה כמכלול ומספק קווים מנחים לדיווח ולתקשור של תוצאת ההערכה. מתודולוגיית החישוב המתוארת ב-EN 15978 מהווה, הלכה למעשה, מתודולוגיית LCA למבנה או מתודולוגיית WBLCA. התקן משמש כיום ברבות ממערכות ההסמכה לבנייה ירוקה באירופה ואף מחוץ לאירופה, כולל LEED (ארה"ב) וגרין סטאר (אוסטרליה) והוא מהווה כיום המתודולוגיה הנפוצה והמקובלת להערכת מחזור חיים של מבנה. התקן האמריקאי ASTM E2921-22 עוסק בהיבט פרטני של ניתוח מחזור חיים - בפרקטיקה המקצועית הנדרשת כדי לבצע השוואה למבני ייחוס במסגרת תהליך של הערכת מחזור חיים למבנים. התקן אינו מתייחס למתודולוגיית הביצוע של הערכת מחזור החיים של המבנה ואינו מנחה כיצד ליישם אותה. בהתאם לכך, הוא שונה מהתקן האירופאי EN 15978 ועוסק בהיבט אחד ומצומצם יחסית. תקן ומתודולוגיית RICS להערכת מחזור חיים הינו מסמך חדש יחסית המהווה מעין הכלאה בין תקן לבין מסמך הנחיות, מבוסס על התקן האירופאי EN 15978 אך מרחיב אותו ומפרט את אופן יישום המתודולוגיה.

## 1.2. מדיניות רגולטיבית בעולם

המחקר סוקר את אופן הטמעת המתודולוגיה להערכת מחזור חיים של מבנים במסגרת הרגולציה הציבורית במקומות שונים בעולם: קנדה, הולנד, דנמרק, נורבגיה, צרפת, שוודיה וניו זילנד וברמה העירונית בלונדון ובוונקובר. צעד מדיניות מרכזי הוא עדכון קוד הבנייה הלאומי או תקנות הבנייה כך שתחול חובה לבצע הערכת מחזור חיים למבנים. בחלק מהמדינות נקבעו דרישות המגבילות את היקף פליטות גזי החממה המקסימלי בכל פרויקט בנייה, ובחלק אחר קיימת כוונה לקבוע דרישות כאלו בעתיד. מדינות אחרות מחייבות ביצוע השוואה של המבנה המתוכנן למבנה ייחוס או לנתוני ייחוס גנריים והוכחת הפחתה. אמצעי מדיניות בולט נוסף הוא גיבוש של מתודולוגיה לאומית מקומית לביצוע הערכת מחזור חיים של מבנים. המתודולוגיה מבוססת בדרך כלל על התקנה הבינלאומית ומסייעת לפרש אותה ולהתאים אותה למאפיינים המקומיים ולמטרות פרטניות. מסמכי הנחיות מסייעים להסביר לבעלי העניין את המתודולוגיה ואת אופן יישומה. אמצעי מדיניות נוסף הוא בניית מאגרי מידע ברמה הלאומית הכוללים מידע אודות ההשפעות הסביבתיות של חומרים, מוצרים ותהליכי בנייה. אלו מתבססים על ניתוחי LCA או EPD שבוצעו עבור החומרים והמוצרים הנפוצים בשוק הבנייה. ככל שלא בוצעו ניתוחים כאלה, מגובשים ערכים גנריים עבור החומרים הבולטים המשמשים את התעשייה המקומית. אמצעי מדיניות נוספים כוללים עדכון של מפרטי בנייה ורכש ממשלתיים, גיבוש תמריצים ועוד. כלל צעדי המדיניות נגזרים לרוב מתוכניות אסטרטגיות ולעיתים מהווים גם רכיב פרטני במדיניות סביבתית שמטרתה לעמוד ביעדי הפחתת פליטות לאומיים.

## 1.3. התייחסות בכלי מדידה לבנייה ירוקה

המחקר סוקר את האופן בו מוטמעת המתודולוגיה בדרישות של ארבעה כלי מדידה בינלאומיים מובילים בעולם: ה-LEED האמריקאי, ה-BREEAM הבריטי, ה-DGNB הגרמני וה-Geen Star האוסטרלי. כמו כן נבחנו גם המתודולוגיה ומסגרת הפעולה החדשה של האיחוד האירופי Level(s). ההתייחסות לנושא נכללת לרוב בפרקים שעוסקים בחומרים והיא רלוונטית עבור סוגים שונים של פרויקטים ושימושים. ככלל, ההתייחסות לנושא נדרשת לרוב כבר בשלב התכנון המוקדם ואת הניתוח יש להשלים לפני קבלת היתר הבנייה. חלק מכלי המדידה מבקשים לבצע הערכה שוטפת לאורך תהליך התכנון כך שניתן יהיה לשקף בקלות את ההשפעות הסביבתיות של שינויים תכנוניים לכל צוות התכנון. הדרישות בכלי המדידה אינן מהוות תנאי סף אך הן מעניקות ניקוד, אשר ניתן הן עבור ביצוע הערכת מחזור חיים למבנה והן עבור הוכחת עמידה ביעדים. ברוב כלי המדידה יש להוכיח הפחתה של ההשפעות הסביבתיות ביחס למבנה ייחוס המגובש על ידי צוות התכנון. היקף ההפחתה הנדרש לקבלת ניקוד נע לרוב בין 10%-40%. ככל שהפחתה גבוהה יותר כך הניקוד גבוה יותר, כאשר הניקוד נע בין 4-8 נקודות בהתאם לכלי. דרך אחרת להוכחת עמידה ביעדים סביבתיים הינה הוכחת הפחתה ביחס לנתוני ייחוס גנריים. לטובת ביצוע הניתוח ניתן לעשות שימוש במגוון כלי עזר שפותחו על ידי הגופים שמאחורי כלי המדידה או על ידי גופים אחרים, ובכלל זה כלי תוכנה, מחשבוניים, מדריכים טכניים ומאגרי מידע.

## 1.4. כלי תוכנה להערכת ההשפעות הסביבתיות במחזור חיים של מבנים

ישנם מספר כלי תוכנה בהם ניתן לעשות שימוש כדי לבצע הערכת מחזור חיים של מבנים. עיקרון הפעולה שלהם דומה ומתבסס על נתונים ומאפיינים של המבנה כדי להעריך את סך החומרים בהם יעשה שימוש

ואת ההשפעה הסביבתית הכוללת מכל החומרים במהלך מחזור החיים. מידע אודות ההשפעות הסביבתיות של חומרים ומוצרים מבוסס על מאגרי מידע אליהם מקושרות התוכנות ועל הנחות שונות המוטמעות במודל החישובי של כל תוכנה.

ניתן להבדיל בין תוכנות בעזרתן ניתן לבצע הערכה מלאה של מחזור חיים לבין תוכנות שמסייעות בפרקטיקות מסוימות או שבוחנות רק חלק משלבי החיים. בין התוכנות הנפוצות יותר להערכה מלאה של מחזור חיים ניתן לציין את [One Click LCA](#), [Athena Impact Estimator](#) ו- [Tally](#). משלושת התוכנות הללו, רק אחת מותאמת לשוק הבינלאומי הכולל את ישראל והשתיים האחרות מותאמות בעיקר לשוק הצפון-אמריקאי. תוכנות אחרות כדוגמת [EC3](#), [Build Carbon Neutral](#), [cove.tool](#), נועדו לסייע בהשוואה בין השפעות סביבתיות של חומרים, או לבחינה של השפעות סביבתיות של חלופות שונות בשלבי התכנון של הבניין, אך לא ניתן לבצע בעזרתן הערכת מחזור חיים מלאה למבנה.

יש לציין כי על רקע ההתפתחות המואצת של הנושא בעולם, כלים חדשים יוצאים לשוק בתדירות גבוהה וכלים ישנים עוברים שיפור ושדרוג. ניכר כי ישנם כלים רבים יחסית עבור חישוב וניהול של פליטות גזי החממה בשלבים המוקדמים של הפרויקט, אך מעט תוכנות לביצוע הערכה מלאה של כל שלבי מחזור החיים. עוד חשוב לציין כי הכלים השונים עושים שימוש בטכניקות מידול שונות, בנתוני רקע שונים, ובהנחות בסיס שונות. לעיתים הכלים מותאמים לפרקטיקות או לחומרי הבנייה הנהוגים במדינות מסוימות ומידת התאמתם למדינות אחרות פחותה. כתוצאה מכל אלו, בחינת פרויקט זה בכלי עזר שונים תניב לרוב תוצאות שונות. מחקרים שבוצעו בשנים האחרונות שבחנו מבנים זהים באמצעות כלי תוכנה שונים, גילו כי קיימים פערים משמעותיים בתוצאות. מהספרות עולה כי לא ניתן להשוות בין תוצאות של ניתוחים שבוצעו בכלים שונים או אפילו בין תוצאות של גרסאות שונות של אותו כלי.

## 1.5. סוגיות בהערכת מחזור חיים של מבנים

תוצאת ניתוח הערכת מחזור חיים תלויה מאוד בבחירות שנעשו, בתרחישים שנבנו ובהנחות שהונחו בעת תהליך המידול של האובייקט הנחקר. כאשר מיישמים ניתוח מסוג זה במערכת מורכבת ורבת אלמנטים כמו בניין, מספר הסוגיות שמחייבות התייחסות גבוה במיוחד, וכללי אצבע והנחות בהם נעשה שימוש בתהליך המידול פוגעים במהימנות התוצאות. מהמחקר עולה בבירור כי קיימות סוגיות רבות אשר עשויות להשפיע על תוצאות הניתוח. לכן יש קושי להשוות בין תוצאות של ניתוחים שונים, ושבוצעו באמצעות מתודולוגיות שונות. להלן כמה מהסוגיות שעולות בשיח המקצועי הנוכחי:

א. שונות בין מאגרי מידע – שונות זו היא תולדה של פרקטיקות מקומיות, שוני בתהליכי הייצור, מידת הנגישות למידע ותדירות עדכון המידע. בשל השונות, יש קושי מתודולוגי בהשוואת נתונים בין מאגרי מידע שונים ובהשוואת תוצאות ניתוחים שהתבססו על מאגרי מידע שונים.

ב. שוני בהנחות מתודולוגיות – הנחות מתודולוגיות שונות יוצרות קושי לבצע השוואה בין תוצאות של ניתוחים שונים. בין השאר קיים שוני בהנחות הנוגעות להגדרת משך חיי השירות של המבנה (שנע בין 50 ל-120 שנה), הגדרת השלבים שיכללו בהערכת מחזור החיים (גבולות המערכת) והגדרת מרכיבי המבנה שנכללים בניתוח.

ג. שוני בשיטת הבדיקה של העמידה ביעדים הסביבתיים – הוכחת העמידה של המבנה מושא ההערכה ביעדים סביבתיים יכולה להתבצע באמצעות שלוש שיטות עיקריות: (1) השוואה לנתונים של מבנה ייחוס המגובש באופן פנימי על ידי צוות התכנון והוכחת הפחתה; (2) השוואה

לנתוני ייחוס שגובשו על ידי גורם חיצוני והוכחת הפחתה; (3) השוואה לערכי ייחוס מקסימליים שגובשו על ידי רגולציה והוכחת היקף פליטות נמוך יותר.

ד. שוני באופן ההגדרה של השטח לניתוח - תוצאות ניתוחי מחזור חיים של מבנים מכומתות בדרך כלל ביחס של כמות פליטות לשטח רצפה של מבנה. על כן, אופן ההגדרה של 'שטח הרצפה' משפיע על היקף השטח של הפרויקט, ובעקבות זאת על התוצאה הסופית של הניתוח. הגדרת שטח הרצפה נגזרת לרוב מהפרקטיקה המקובלת בכל מדינה, כאשר בדרך כלל, נעשה שימוש בווריאציה כזו או אחרת של 'שטח רצפה ברוטו'. יחד עם זאת ההגדרה של 'שטח רצפה ברוטו' אינה אחידה והיא משתנה בין מדינה למדינה.

ה. פערים בתוצאות בין כלי תוכנה - במקרים רבים, ניתוחי הערכת מחזור חיים למבנים מתבצעים בעזרת כלי תוכנה. כאמור, מחקרים שבוצעו בשנים האחרונות ובחנו מבנים זהים באמצעות כלי תוכנה שונים, גילו כי קיימים פערים משמעותיים בתוצאות.

### 1.6 הפרקטיקה בישראל

הערכת מחזור חיים למבנים בישראל היא פרקטיקה נדירה למדי שישומה החל רק בשנים האחרונות. הפרקטיקה מיושמת בעיקר במסגרת תהליכי התעדה של מבנים לדרישות ה-LEED אך גם מתוך עניין של חברות להבין את טביעת הרגל הסביבתית של פרויקט ולפעול לצמצומה. משיחות שבוצעו עם חברות שעוסקות ביעוץ לבנייה ירוקה והפחתת פליטות פחמן של מבנים, עולה כי לרוב הניתוח מתבצע במטרה לעמוד בדרישות ה-LEED. הניתוח מתבצע באמצעות תוכנת One Click, נערך פעם אחת בשלב הסופי של התכנון או לאחר תחילת הבנייה, ואינו מהווה שיקול בבחינת חלופות התכנון משום שקל יחסית לעמוד בדרישה ולקבל את הניקוד המקסימלי. ככל שמטרת הניתוח הינה להבין את טביעת הרגל הסביבתית של מבנה ולצמצם אותה, הניתוח יכול להתבצע גם באמצעות תוכנות אחרות מספר פעמים במהלך שלבי התכנון. במקרה כזה הניתוח יתרום ככל הנראה לבחירת חומרי הבנייה ולהשוואה בין חלופות תכנון. מטרת הניתוח גוזרת גם את המתודה בה יעשה שימוש, שלבי החיים שיכללו בניתוח, מרכיבי המבנה וכד'. ככל שהניתוח נעשה כדי לעמוד בדרישת ה-LEED ישנה מסגרת נוקשה למדי המסדירה את ההיבטים הללו, אך ככל שהניתוח נעשה שלא כדי לעמוד בדרישות רגולטיביות, קיים חופש יחסי להתאים את הפרקטיקה למטרות ניתוח משתנות.

### 1.7 אמצעי מדיניות לבחינה בישראל

בהתבסס על הניסיון בעולם ועל ניצני הפרקטיקה בישראל מוצע לבחון קידום של מספר מהלכים:

א. שינוי התקן הישראלי לבנייה ירוקה (ת"י 5281) - מוצע להוסיף דרישה, שבדומה לכלי המדידה המובילים בעולם, תעניק ניקוד עבור ביצוע הערכת מחזור חיים למבנים, מדידה ודיווח של הפליטות, וניקוד נוסף עבור השגת הפחתה או עבור עמידה ביעדים שיוגדרו.

ב. בחינת החלת חובה הדרגתית לדיווח ולהפחתת פליטות - רוב פרויקטי הבנייה החדשים בישראל מחויבים כיום לעמוד בדרישות התקן הישראלי לבנייה ירוקה (ת"י 5281) ברמה של כוכב אחד לפחות. על כן, הטמעת דרישה לביצוע הערכת מחזור חיים בתקן לבנייה ירוקה עשויה לקדם באופן משמעותי את הפרקטיקה המעשית. יחד עם זאת, ככל והדרישה לא תוגדר כתנאי סף, אין

לדעת מה היקף הפרויקטים שיבחרו לעמוד בה. על כן ניתן לבחון החלת חובה הדרגתית לדיווח ולהפחתת פליטות באמצעות הערכת מחזור חיים למבנים. בתחילה מוצע להטיל חובה על דיווח בלבד ובהמשך ניתן יהיה לקבוע יעדי פליטות מקסימליים או יעדי הפחתה, ולהחיל אותם באופן הדרגתי.

ג. גיבוש מתודולוגיה והנחיות להערכת מחזור חיים של מבנים בישראל - על בסיס התקינה הבינלאומית הרלוונטית, ותוך למידה של מתודולוגיות מקבילות מהעולם, מוצע לגבש מתודולוגיה להערכת מחזור חיים של מבנים בישראל. המתודולוגיה המקומית תסדיר את הפרקטיקה של הערכת מחזור חיים של מבנים בישראל, תסייע בהבנת הדרישות של התקינה הבינלאומית הרלוונטית ותגדיר הנחיות פרטניות המותאמות למאפיינים המקומיים.

ד. בניית מאגר מידע ארצי לחומרי ומוצרי בנייה - בישראל אין כיום מאגר מידע מוסדר ורשמי אודות ההשפעות הסביבתיות מחומרים ומוצרים, אך המשרד להגנת הסביבה פועל כיום לבניית מאגר כזה. בהתבסס על הניסיון בעולם, מוצע כי המאגר ייבנה כך שיכלול ממשק עבודה מתקדם המאפשר נוחות עבודה עבור המשתמשים ותאימות לכלי תוכנה, ומוצע כי הגישה אליו תהיה פתוחה ללא עלות. לטובת קידום המהלך מוצע לבצע מחקר הכולל סקירה של מאגרי מידע מובילים בעולם, בחינה שלהם על בסיס פרמטרים שונים (מקורות המידע, ארגון המידע, ממשק המשתמש, תהליכי עבודה ובקרה וכיו"ב) ויגזור מסקנות ותובנות שיסייעו לבנייה של מאגר מידע ישראלי.

ה. בחינת התאמתם של כלי תוכנה בינ"ל ובחינת הצורך והאפשרות לפתח כלי מתאים לישראל - בהמשך לסקירה הראשונית המובאת בעבודה זו, מוצע לערוך סקר מעמיק של כלי התוכנה הרלוונטיים עבור ישראל כולל בחינה של מאפיינים מרכזיים, יכולות, יתרונות וחסרונות, מגבלות וכיו"ב. מוצע לערוך פיילוט במסגרתו תתבצע התנסות מעשית בעבודה עם כלי התוכנה שיימצאו רלוונטיים ושממנו ייגזרו משמעויות ומסקנות עבור ישראל.

ו. פיתוח חומרי עזר והסברה - קידום התחום והטמעתו בשוק מלווה לרוב בפיתוח מגוון חומרי הסברה, מדריכים והכשרות הזמינים ללא עלות ברשת. עם פיתוח הנושא בישראל חשוב ללוות את התהליך בפיתוח ובפרסום חומרי עזר והסברה מתאימים. בין השאר מדובר בקורסים מקוונים, ימי עיון, הרצאות מוקלטות, מסמכי הנחיות ועוד. החומרים יכולים להיות מפותחים על ידי גופים רלוונטיים במגזר הציבורי, גופים בעלי מומחיות במגזר הפרטי, מכוני מחקר וארגונים ללא כוונת רווח.

פליטות של גזי חממה כתוצאה משריפת דלקים פוסיליים הן גורם מרכזי להתחממות כדור הארץ ולשינויי האקלים. הפאנל הבין-ממשלתי בנושא אקלים (IPCC), מיסודו של האו"ם, קבע כיעד את הצורך להגביל את התחממות כדור הארץ עד ל- 1.5 מעלות צלזיוס בסוף המאה. לפי המודלים שנבדקו, לעלייה גדולה מ-2 מעלות צלזיוס יהיו השלכות חמורות על כדור הארץ, חלקן בלתי הפיכות. כדי לעמוד ביעד זה תצטרך האנושות להפחית את פליטות גזי החממה (הנמדדות בערכים שווי ערך לפחמן דו חמצני) ב-45% עד שנת 2030 וב-100% עד שנת 2050 ביחס לרמת הפליטות בשנת 2010.<sup>1</sup>

מקובל להעריך כי הסביבה הבנויה מייצרת כ-39% מפליטת גזי החממה השנתית העולמית. כ-28% מהן מיוחסות לאנרגיה הנצרכת לטובת השימוש במבנים, וכ-11% מהן מיוחסות לתהליכי הייצור של חומרי בנייה, השמתם במהלך הבנייה, פעולות לתחזוקתם וטיפול בהם בסוף מחזור שימוש כך שהן 'גלומות' במבנים.<sup>2</sup>

על מנת לתמוך בהפחתת ההשפעה הסביבתית ממבנים, ובפרט צמצום הפחמן הגלום בהם, מקודמת בשנים האחרונות מתודולוגיה להערכת ההשפעות הסביבתיות של מבנים במהלך מחזור חייהם (Whole Building Life Cycle Analysis - WBLCA). ככלל, הערכת מחזור חיים (LCA) היא גישה להערכת צריכת המשאבים וההשפעות הסביבתיות של מוצרים ותהליכים תוך התייחסות לכל מחזור חייהם. גישה זו מקובלת כיום בעולם להשוואת ההשפעות הסביבתיות של מוצרים ותהליכים, בין השאר גם בענף הבנייה. הערכת מחזור החיים של חומרי ומוצרי בנייה נמצאת בשימוש הולך וגדל בענף הבנייה ואף הוטמעה בכלי הערכה הבוחנים את ההשפעות הסביבתיות של מבנים כגון ה-LEED האמריקאי והתקן הישראלי לבנייה ירוקה ת"י 5281. בשנים האחרונות, גובר העניין בהטמעת גישה זו להערכת ההשפעות הסביבתיות של הבניין כולו כמכלול, בשלבים השונים של חייו (WBLCA). זאת, כבסיס לשיפור היכולת של צוותי התכנון והבנייה לבצע אופטימיזציה סביבתית ולצמצם את ההשפעות הסביבתיות בשלבי הבנייה, התפעול, התחזוקה וסוף החיים.

מחקר זה מציג 'תמונת מצב' עדכנית של הניסיון בעולם בהטמעת גישת ה-WBLCA והשימוש בה, תוך הסבר של המתודולוגיה, בחינת הסביבה הרגולטיבית המתפתחת, בחינת אופן ההטמעה של גישה זו בכלי הערכה לבנייה ירוקה, הצגת כלי העזר בהם נעשה שימוש ובחינה ראשונית של יישומה בישראל. מתוך כך, מתבצע גם זיהוי ומיפוי של סוגיות מרכזיות אשר עולות בספרות המחקר ובספרות המקצועית בעולם, וכן התייחסות ליתרונות ומגבלות הגישה ולאמצעי מדיניות שיסייעו בהטמעתה בישראל.

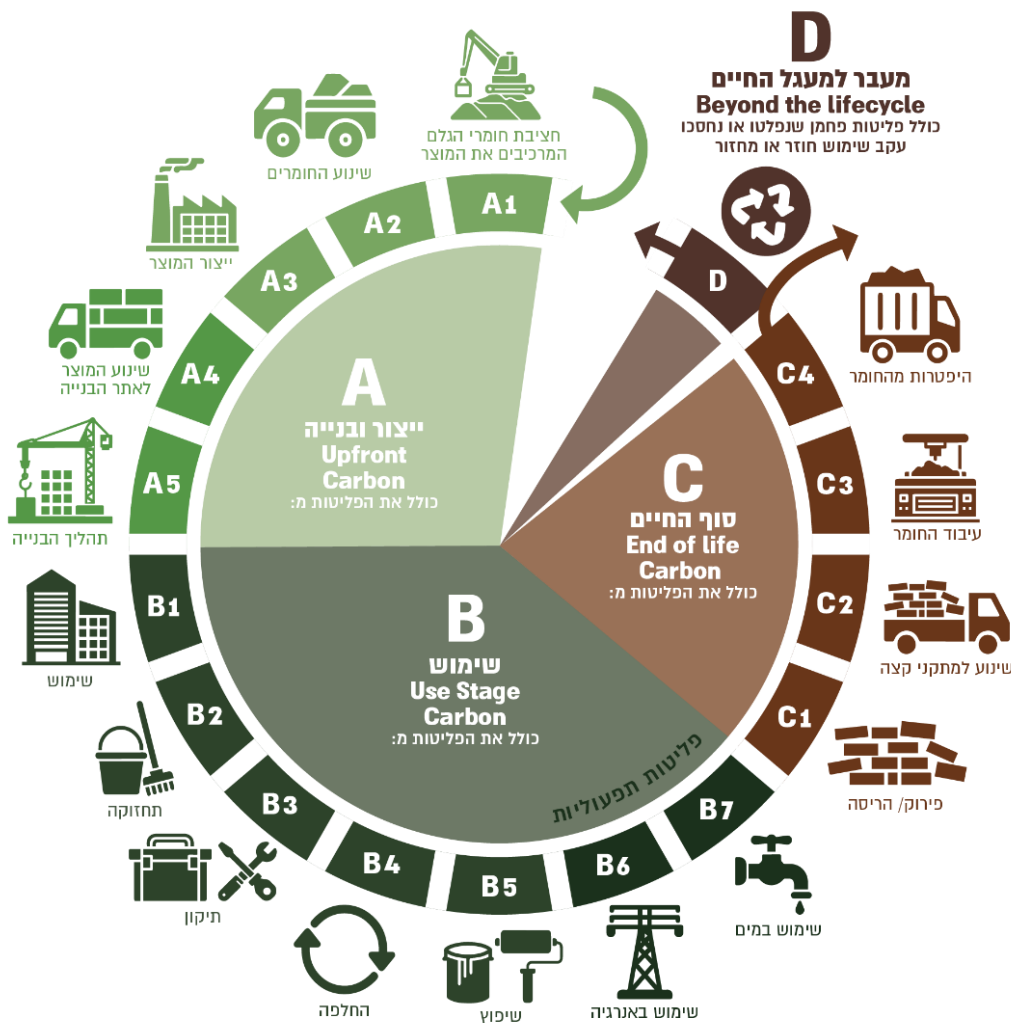
<sup>1</sup> Net Zero Platform, University of Oxford. ([Link](#))

<sup>2</sup> Thibaut Abergel, Brian Dean and John Dulac, The Global Status Report 2017, the Global Alliance for Buildings and Construction, 2017. ([Link](#))

3.1 מחזור החיים של מבנים

הערכת מחזור החיים של מבנים היא מתודולוגיה מתפתחת שנועדה לשפוך אור על ההשפעות הסביבתיות מחומרי, ממוצרי ומתהליכי הבנייה והשימוש במבנים לאורך חייהם ולעודד את צמצומן. ככלל, המתודולוגיה מתייחסת לשלבים שונים (או 'יחידות תפקודיות' - Modules) בכלל מחזור החיים של מבנים. ישנם ארבעה שלבים מרכזיים במחזור החיים של מבנים: (1) ייצור; (2) בנייה; (3) שימוש ותפעול; ו-(4) סוף החיים. אלו מחולקים לתתי שלבים כפי שמתואר בתרשים:

שלבי מחזור החיים של מבנים



שלבים A1-A3 – תהליך ייצור החומרים והמוצרים: מתייחס לפעולות החציבה והכרייה, השינוע ותהליכי ייצור החומרים והמוצרים.

שלבים A4-A5 – תהליך הבנייה: מתייחס לשינוע החומרים והמוצרים לאתר הבנייה ולכל שלבי הבנייה עצמה.

שלב B - השימוש/התפעול: מתייחס לפעולות התפעול, התחזוקה והשיפוץ וכן לצריכת האנרגיה והמים לאורך שנות השימוש בבניין.

שלב C - סוף החיים: מתייחס לפעולות הריסה או פירוק, שינוע החומרים או פסולת הבניין, עיבוד החומרים או פסולת הבניין וסילוקם הסופי.

שלב D – נמצא מעבר לגבולות המערכת (מעבר לגבולות המתודולוגיה הבסיסית שמוגדרת על ידי חיי הבניין מתחילתם ועד סופם), ומתייחס למגוון ההשפעות משימוש חוזר, מחזור ו/או שחזור חומרים, השבת אנרגיה או מים וכד'.

שלב A עד C מגדירים את גבולות המערכת (System Boundary), קרי גבולות המתודולוגיה המבטאת מחזור חיים של בניין 'מעריסה לקבר'. לרוב, ניתוח ההשפעה הסביבתית בשלבים A1-A3 מתבצע בהתבסס על מקורות מידע ראשוניים ומשניים, זאת בהתאם לפרויקט ולמוצרים בהם נעשה שימוש. משלב A4 והלאה הניתוח מתבצע לרוב באמצעות גיבוש תרחישים על בסיס נתוני התכנון והשוואתם לנתונים של מבני ייחוס או לנתוני בסיס (Benchmarks). יש לציין כי לא כל ניתוחי ה-WBLCA יכללו התייחסות לכל שלבי מחזור החיים. לעיתים קרובות ביצוע הניתוח נועד לעמוד בדרישות רגולטיביות או בדרישות של כלי מדידה לבנייה ירוקה, וקיימת שונות ביניהם ביחס לשלבים אותם יש חובה לכלול בניתוח. על כך בהמשך המסמך.

### 3.2 קטגוריות לכימות ההשפעה הסביבתית (Impact Categories)

הערכת מחזור החיים משמשת בעיקר לכימות פליטות, קרי, חומרים המשתחררים לאוויר, למים או לאדמה בעלי השפעה שלילית על הסביבה ובריאות האדם. הדגש המרכזי ניתן לפליטות של גזי חממה (Greenhouse Gas Emissions) GHG, הגורמות להתחממות כדור הארץ ולשינויי האקלים.

את כימות ההשפעה הסביבתית של פליטות החממה מקובל לבצע בערכי (Global-warming GWP Potential). ה-GWP משמש להערכת התרומה של כמות נתונה של מאסה של גז חממה להתחממות העולמית. זהו סולם יחסי המשווה את הגז בו מדובר למסה זהה של פחמן דו-חמצני. כך, גזי חממה שונים נמדדים באופן יחסי לפוטנציאל חימום כדור הארץ שלהם לעומת זה של פחמן דו-חמצני, ומומרים בהתאם לכך ליחידות שוות ערך לכמות פחמן דו-חמצני המזיקה באותה המידה, כלומר שוות ערך לפחמן (CO<sub>2</sub> equivalent)<sup>3</sup>. שרפת דלקים ממקורות פוסיליים, במסגרתה נפלט פחמן דו-חמצני, היא אחד המקורות העיקריים להתחממות כדור הארץ. על כן נקבע הפחמן לאמת המידה לחישוב כלל הפליטות של גזי החממה. הגדרת אמת מידה אחת מאפשרת ביתר פשטות לעקוב אחרי תופעת התחממות כדור הארץ, להבין את סיבותיה ולנקוט באמצעים לצמצומה. חשוב לציין כי באמצעות ה-LCA ניתן להעריך ולכמת השפעות סביבתיות נוספות כגון פוטנציאל החמצון של משאבי קרקע ומים (Acidification), פוטנציאל אֶטְרוֹפִיקָצְיָה (הצטברות של חומרים אורגניים במקווי מים), פוטנציאל היווצרות אוזון טרופוספרי (היווצרות של גז אוזון בשכבה הנמוכה ביותר של האטמוספירה בעקבות פליטות מעשה ידי אדם), פוטנציאל יצירת ערפיח ועוד.

בניתוח הערכת מחזור חיים של מבנה, כלל החומרים והתהליכים נאגדים לכדי רשימת מצאי (Inventory) וזו מוכפלת בכימות של כלל ההשפעות הסביבתיות של כל חומר ותהליך בכל שלב בחייו של המבנה. התוצאה המתקבלת משקפת את ההשפעה הסביבתית הכוללת של המבנה במחזור חייו.

<sup>3</sup> אתר המשרד להגנת הסביבה (קישור)

הפרקטיקה להערכת מחזור חיים של מבנים מבוססת על מתודולוגיית ה-LCA כפי שמעוגנת בתקנים הבינלאומיים ISO 14040 ו-ISO 14044. התהליך מורכב מ-4 שלבים מרכזיים כאשר כל אחד מהם כולל מספר תתי-שלבים<sup>4</sup>:

### 3.3.1. שלב ראשון: הגדרת מטרת ותחום הניתוח (Goal and Scope)

**מטרת הניתוח (Goal):** המטרה יכולה להתייחס לסיבות לביצוע הניתוח וגם לקהל היעד שלו (אנשי מקצוע בפרויקט, מזמין הפרויקט, גורמים רגולטוריים, מנגנוני הסמכה). בין המטרות האפשריות ניתן לציין את הבאות: בחינת ההשפעות הסביבתיות של חלופות תכנוניות שונות (ובכלל זה בחירת חומרים, חלופות עיצוביות, טכניקות בנייה וכיו"ב); זיהוי אלמנטים מבניים בעלי השפעות סביבתיות גבוהות במיוחד; הצדקה של בחירות מקצועיות של חומרים או תהליכים; השוואה בין הביצועים הסביבתיים של המבנה לבין נתוני ייחוס; הוכחת עמידה בדרישות של כלי הערכה ומנגנוני הסמכה.

**תזמון הניתוח (Project Timing):** ניתן לבצע את הניתוח בשלבים שונים של תהליך התכנון והבנייה. בתלוי במטרות שהוגדרו, יש לזהות את השלב המתאים ביותר לביצוע הניתוח כך שישתת את מטרותיו. ככל שהשלב מתקדם יותר, ובמיוחד לאחר תחילת הבנייה, ניתן יהיה לכמת את מצאי החומרים באופן מדויק יותר ולהגיע לתוצאות מדויקות יותר. אופציה זו יעילה עבור הוכחת עמידה בדרישות רגולטביות או דרישות של מנגנון הסמכה. מאידך, ככל שהניתוח נעשה בשלבים מוקדמים יותר היכולת לבצע שינויים גדלה, ובהתאם גדלה היכולת למקסם את היעילות הסביבתית של המבנה.

**תחום הניתוח (Scope):** מתייחס למושא הערכה, קרי, רכיבי המבנה שיכללו בבדיקה. בהתאם למטרה שהוגדרה, הניתוח יכול לכלול את כל המבנה או חלקים ממנו. לרוב, הניתוח יכול לכלול רכיבים קונסטרוקטיביים ורכיבי מעטפת כגון גגות, עמודים, רצפות, קירות וכיו"ב, ולא יכול מערכות טכניות וריהוט. אם המטרה היא לבצע ניתוח השוואתי להוכחת הפחתה של הפליטות הפוטנציאליות של המבנה, יש צורך להעריך בניתוח גם פליטות ממשיות או פוטנציאליות ממבנה ייחוס (אמיתי או תאורטי) ולהשוות אליהן.

**גבולות המערכת (System Boundary):** מתייחס לשלבי מחזור החיים שיעברו הערכה. גבולות המערכת מוגדרים בהתאם למטרת הניתוח. כך למשל, כאשר מטרת הערכת מחזור החיים היא מדידה של הפחמן הגלום בפרויקט, ניתן לא לכלול חלק משלבי הניתוח המתייחסים לשימוש בבניין בפועל, בדרך כלל שלבים B1, B6 ו-B7 המתייחסים לשימוש בפועל ולצריכה האופרטיבית של אנרגיה ומים. שלבים B2-B5 מתייחסים לתחזוקה, שיפוץ, תיקונים והחלפה, ולרוב נלקחים בחשבון בניתוח, זאת בהתאם למטרת הניתוח ולתוחלת החיים שהוגדרה עבור הבניין. פעמים רבות גבולות המערכת מוגדרים על ידי הרגולציה הרלוונטית או על ידי מנגנוני הסמכה לבנייה ירוקה.

**משך חיי השירות של המבנה (Reference Study Period):** מתייחס לתוחלת החיים של המבנה המוגדרת לטובת עריכת הניתוח. זו עשויה להיקבע על ידי רגולציה רלוונטית, דרישות ותנאים של

<sup>4</sup> פרק זה מבוסס על שני מסמכים מרכזיים:

Life Cycle Assessment Practice to Estimate Embodied Carbon in Buildings, Zero Emissions Building Exchange, University of British Columbia, 2021. ([Link](#))  
Kathrina Simonen et al., Life Cycle Assessment of Buildings: A Practice Guide, The Carbon Leadership Forum, Department of Architecture, University of Washington, 2019. ([Link](#))

מנגנוני הסמכה או באופן וולונטרי על ידי צוות הפרויקט. לרוב תוחלת החיים של מבנים מוגדרת לפרק זמן של 50-60 שנה.

### 3.3.2. שלב שני: ניתוח מצאי (Inventory Analysis)

**הגדרת מקורות מידע (Data Sources):** זהו שלב בעל השפעה קריטית על תוצאות הניתוח היות והתוצאות מושפעות באופן ישיר מהמידע שנאסף. את מקורות המידע הנדרשים לניתוח ניתן לסווג לפי מידת הדיוק שלהם למקורות ראשוניים כגון מסמכי מקור (הזמנות וקבלות), מידע מותאם פרויקט (מודלי BIM, שרטוטים, הערכת כמויות) או מידע מותאם מוצר (LCA או EPD), ולמקורות משניים (כגון הערכות, נתוני ייחוס או ערכים ממוצעים בתעשייה). מקורות מידע מותאמי פרויקט הם הנפוצים ביותר בשימוש בניתוחי WBLCA. מקורות המידע בהם יעשה שימוש תלויים במטרת הניתוח, תזמון הניתוח וזמינות המידע.

**שימוש בכלי תוכנה לביצוע ההערכה (Assessment Tools):** עריכת הניתוח מתבצעת כיום לרוב בעזרת כלי תוכנה אשר מסייעים בהשלמת ניתוח המצאי (Inventory assessment) ובדיקת ההשפעה הסביבתית (Impact assessment). יש מגוון גדול של כלים אשר נבדלים ביחס לשלבים השונים של מחזור החיים שהם יכולים להעריך, מתודת קליטת המידע (Input Method) בה נעשה שימוש, הפורמט שבו מוצג המידע, הנחות המודל החישובי בו נעשה שימוש ובסיסי המידע אודות החומרים והתהליכים בהם התוכנות עושות שימוש. יצוין כי ישנם כלים אליהם נדרש להכניס את הכמויות המדויקות של החומרים בהם נעשה שימוש, כאשר כלים אחרים מאפשרים אינטגרציה לתוכנות תכנון ומידול כך שהכלים מושכים את המידע ישירות מהן.

**שימוש במאגרי מידע (Life cycle databases):** ברקע של כלי התוכנה ישנם מאגרי מידע אודות ההשפעות הסביבתיות של חומרים ומוצרים במחזור חייהם. בעזרת מאגרי המידע הללו כלי התוכנה מצליחים לספק תוצאות במהירות וחוסכים עבודה סיוזיפית ומסורבלת של צוות התכנון. קיים מספר רב של מאגרי מידע, חלקם ציבוריים וחלקם פרטיים. חלק מכלי התוכנה מתבססים על מאגרי מידע ציבוריים וחלק אחר מתבסס על מאגרי מידע שנמצאים בבעלותם ומהווים חלק מחבילת השירות המסופקת לפרויקט. ישנם גם כלים המחברים ליותר ממאגר מידע אחד ומאפשרים בחירה במאגר המידע המתאים ביותר בהתאם למיקום הפרויקט. חשוב לציין כי קיימת שונות בין מאגרי המידע והיא תולדה של השונות הקיימת בפרקטיקות הבנייה המקומיות, בתהליכי הייצור של החומרים, בנגישות למידע ובתדירות עדכון המידע.

### 3.3.3. שלב שלישי: הערכת ההשפעה (Impact Assessment)

זהו השלב בו מתבצע ניתוח ההשפעה הסביבתית, בדרך כלל באמצעות כלי עזר ותוכנות רלוונטיות. ניתן לבחור לבצע את הניתוח על בסיס מספר פרמטרים סביבתיים אך השימוש הנפוץ הוא בערכי GWP אשר מעידים על פוטנציאל ההשפעה של הפרויקט על ההתחממות הגלובלית. הערכת ההשפעה מתבצעת בארבעה שלבים:

א. **איסוף ועיבוד המידע (Data Extraction and Processing):** תהליך המרת המידע ממקורות הנתונים הגולמיים של הפרויקט לרשימת חומרים ראשונית.

ב. **חישוב הכמויות (Quantity Calculations)**: הנתונים הגולמיים משמשים להערכת כמויות החומר ביחידות המידה המתאימות. בשלב זה מתבצע איחוד של חומרים זהים מאותה קטגוריה כדי ליצור קטגוריה בודדת עבור כל חומר. התוצר משלב זה הוא רשימת חומרים וכתב כמויות של כל חומר במבנה.

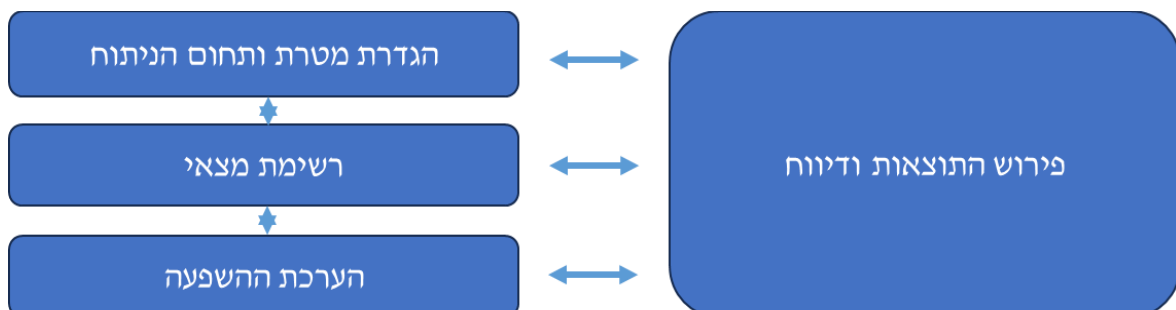
ג. **מיפוי והתאמה של חומרים (Material Mapping)**: בשלב זה מתבצעת התאמה של החומרים בכתב הכמויות של הבניין לחומרים הקיימים במאגר המידע של כלי התוכנה. התוצר משלב זה הוא רשימה חדשה של חומרים המותאמת לשיטת סיווג החומרים במאגר המידע. עבור חומרים ומוצרים ללא התאמה מדויקת, נקבע תחליף מקובל. זה כרוך בדרך כלל במציאת המוצר או החומר הדומים ביותר. באופן דומה מתבצעת המרה של יחידות המדידה של המוצר כך שיתאימו ליחידות בהן עושה שימוש מאגר המידע.

ד. **קלט ופלט של כלי התוכנה (Input/Output from the LCA Tool)**: תוצר שלב זה הוא כימות ההשפעות הסביבתיות. בתהליך זה התוכנה מייצרת רשימת חומרים חדשה שעשויה לכלול חומרים נוספים המשקללים פקטור של בלאי ופסולת בנייה. על כן חשוב לעיין ברשימה החדשה ולערוך בקרה במטרה לגלות אי-התאמות בכמויות החומרים או טעויות חישוביות.

### 3.3.4 שלב רביעי: פירוש התוצאות ודיווח

אופן הצגת תוצאות הניתוח משתנה על פי כלי התוכנה. ניתן להציג את התוצאות על פי רכיבי המבנה, סוגי החומרים, שלבי מחזור החיים ועוד. תהליך פירוש התוצאות וגיבוש התוצר הסופי שישמש גם לדיווח יכול להסבר של התהליך, מסקנות, הסבר של מגבלות הניתוח וגיבוש המלצות. באמצעות הדו"ח הסופי ניתן להוכיח עמידה בדרישות רגולטיביות או עמידה ביעדי ביצועים סביבתיים של כלי הערכה. בעת ביצוע הפירוש והדיווח של התוצאות, חשוב לזכור כי למרות מידת הדיוק הגבוהה שבה בדרך כלל מוצגות התוצאות, הן מהוות הערכה בלבד. התוצאות מצביעות על השפעות סביבתיות אפשריות ואינן חוזות את ההשפעה הסביבתית של המבנה בפועל. תוצאות הניתוח הם נגזרת של מטרות ותחום הניתוח, אשר בתורם משפיעים על נתוני הקלט, כלי התוכנה, מאגרי המידע וההנחות הנכללות במודל הניתוחי. ניתוח של אותו מבנה באמצעות כלים שונים יסתיים במקרים רבים בתוצאות שונות (על כך בהמשך המסמך).

### מסגרת תהליך ה-LCA כפי שמעוגנת בתקן ISO 14040:2006



חשוב לציין כי כל שינוי תכנוני מצריך ביצוע חוזר של הערכת מחזור חיים עבור החלופה החדשה. אף על פי שהמתודולוגיה בנויה משלבים מובנים בתהליך טורי, היישום שלה בפועל יהיה לרוב איטרטיבי תוך בחינה חוזרת ונשנית של חלופות משתנות.

התפתחותן של שיטות ופרקטיקות להערכת מחזור חיים של מבנים העלתה את הצורך להסדרתן ועיגון בתקינה בינ"ל רשמית. פרק זה נועד לשפוך אור על התקינה ההולכת ומתפתחת בעולם והמהווה בסיס רגולטורי ומדעי להמשך התפתחותם של פרקטיקות ושל כלים בתחום. הפרק סוקר את תקני ISO 14040, ISO 14044, ISO 14025 ו-ISO 21930 המהווים בסיס למתודולוגיית ה-LCA וה-EPD, התקן האירופאי EN 15978 המגדיר מתודולוגיה להערכת הביצועים הסביבתיים של מבנה ומספק קווים מנחים לדיווח ולתקשור של תוצאת ההערכה (ומהווה הלכה למעשה תקן ל-WBLCA), ואת התקן האמריקאי ASTM E2921-22 אשר מגדיר תנאים ודרישות לביצוע השוואה למבני ייחוס במסגרת תהליך של הערכת מחזור חיים למבנים. כמו כן הפרק מתייחס גם לתקן ומתודולוגיית RICS להערכת מחזור חיים שהינו מסמך חדש יחסית המהווה מעין הכלאה בין תקן לבין מסמך הנחיות ומבוסס על התקן האירופאי EN 15978.

#### 4.1 תקני ISO - מתודולוגיה להערכת מחזור חיים (LCA) וכתובת הצהרות סביבתיות (EPD)

המתודולוגיה להערכת מחזור חיים של מבנים (WBLCA) מבוססת על המתודולוגיה הבסיסית להערכת מחזור חיים (LCA). זו מעוגנת כאמור במספר תקנים בינלאומיים שגובשו על ידי ארגון התקינה העולמי, בראשם תקני ISO 14040 ו-ISO 14044 אשר קובעים את העקרונות לביצוע התהליך, את מסגרת הפעולה, דרישות והנחיות,<sup>5,6</sup> תקן ISO 14025 אשר קובע עקרונות ומפרט תהליכים לצורך פיתוח תוכניות להצהרות סביבתיות (EPD),<sup>7</sup> ותקן ISO 21930 אשר קובע את המסגרת ואת הדרישות לכתובת הצהרות סביבתיות למוצרים.<sup>8</sup> תקנים אלו ותיקים יחסית בשוק ועוברים עדכון מעת לעת.

תקן ISO 14040 אשר פורסם בשנת 2006, קובע את העקרונות ואת המסגרת להערכת מחזור החיים (LCA) ומגדיר את שלבי הניתוח: הגדרת מטרת ותחום הניתוח, הכנת רשימת מצאי של החומרים והתהליכים, הערכת ההשפעה, פירוש התוצאות, דיווח התוצאות, ציון מגבלות הניתוח, ואת יחסי הגומלין בין השלבים והתנאים לבחירת ערכים עבור אלמנטים שונים. התקן אינו מתייחס אמנם לשיטות הביצוע של הניתוח וגם לא למתודולוגיות פרטניות לכל שלב, אך הוא כולל דרישות והמלצות שנועדו להבטיח שקיפות ביחס אליהן כך שניתן יהיה להשוות בין תוצאות של ניתוחים שונים כאשר הן זהות.<sup>9</sup>

תקן ISO 14044 שפורסם גם הוא בשנת 2006, משלים את תקן ISO 14040 ומגדיר דרישות וקווים מנחים לאופן ביצוע שלבי הניתוח. תקן זה מתייחס למשל לאופן הגדרת מטרת הניתוח כך שתנוסח בהלימה עם המתודולוגיה ועם יכולות הניתוח. כמו כן הוא מגדיר דרישות והנחיות לביצוע תתי-השלבים השונים של הניתוח ולהבנה ולפירוש של תוצאותיו.<sup>10</sup>

<sup>5</sup> ISO 14044: Environmental management Life cycle assessment - Requirements and guidelines ([Link](#))

<sup>6</sup> ISO 14040: Environmental management Life cycle assessment - Principles and framework ([Link](#))

<sup>7</sup> ISO 14025: Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations Principles and procedures ([Link](#))

<sup>8</sup> ISO 21930: Sustainability in buildings and civil engineering works - Core rules for environmental product declarations of construction products and services ([Link](#))

<sup>9</sup> ISO 14040: Environmental management Life cycle assessment - Principles and framework ([Link](#))

<sup>10</sup> ISO 14044: Environmental management Life cycle assessment - Requirements and guidelines ([Link](#))

תקני ISO 14025 משנת 2006 ו- ISO 21930 משנת 2017 מתייחסים לתוצר משלים מניתוח ה-LCA שהוא ההצהרה הסביבתית של המוצר (EPD - Environmental Product Declaration). זוהי הצהרה המבטאת את ההשפעה הסביבתית של מוצר בהתייחס לניתוח מחזור החיים שלו. הצהרה זו מייצרת שקיפות ביחס להשפעות הסביבתיות של המוצר ומאפשרת ליצרן של המוצר לזכות בהכרה על השפעה סביבתית מצומצמת, ואף לעמוד בדרישות רגולטוריות או בדרישות של מנגנוני הסמכה למוצרים ולמבנים. התקנים מגדירים עקרונות, מפרטים ודרישות להכנת הצהרה סביבתית למוצר באופן פרטני עבור מוצרים ושירותים בענף הבנייה, ובכלל זה גם אלמנטים שונים מתחום הבנייה כולל מערכות טכניות המשולבות או משמשות בעבודות בנייה. התקנים קובעים סל של דרישות המתייחסות בין השאר לכללים לחישוב מצאי החומרים והתהליכים בייצור המוצר, להנחות בסיס הנוגעות לאינדקטורים הסביבתיים ולאופן הסיכום והדיווח של ההשפעה הסביבתית. הם מתארים את שלבי מחזור החיים אותם יש לקחת בחשבון בסוגים שונים של הצהרות סביבתיות, את התהליכים אליהם יש להתייחס בכל שלב וכיצד יש לחלק את שלבי הניתוח לתתי-מודולים של מידע. כמו כן, הם מגדירים את הכללים לעריכת תרחישים, את האלמנטים אשר יש לכלול בהצהרות הסביבתיות, את מבנה המסמך ואת הכללים לעריכת השוואה בין מוצרים שונים.<sup>11</sup>

#### 4.2 תקן אירופאי EN 15978

תקן זה מהווה חלק מקבוצת תקנים (תקני EN) המפותחים על ידי הועדה האירופית לסטנדרטיזציה (European Committee for Standardization). גוף תקינה אירופי זה מאגד את גופי התקינה הלאומיים מ-34 מדינות אירופאיות והתקנים המפורסמים על ידו מהווים בסיס רגולטיבי עבור כלל מדינות האיחוד האירופי.

תקן EN 15978 מגדיר מתודולוגית חישוב להערכת הביצועים הסביבתיים של מבנה ומספק קווים מנחים לדיווח ולתקשור של תוצאת ההערכה. תקן זה נמצא בשימוש באירופה ובחלקים אחרים בעולם והוא משמש לא רק להערכת הביצועים הסביבתיים של מבנים אלא גם כדי לתמוך בפיתוח ויישום של מדיניות ורגולציות המקדמות קיימות בענף הבנייה. מתודולוגיית החישוב המתוארת ב-EN 15978 מהווה, הלכה למעשה, מתודולוגיית LCA למבנה או מתודולוגיית WBLCA. התקן משמש כיום ברבות ממערכות ההסמכה לבנייה ירוקה באירופה ואף מחוץ לאירופה, כולל LEED (ארה"ב) וגרין סטאר (אוסטרליה) והוא מהווה כיום את המתודולוגיה הנפוצה והמקובלת להערכת מחזור חיים של מבנה.

התקן מיועד ליישום במבנים קיימים, מבנים חדשים או מבנים בשיפוץ והוא קובע דרישות וקווים מנחים עבור ביצוע שלבי התהליך שלהלן: תיאור המבנה מושא ההערכה; הגדרת גבולות הניתוח (System Boundary) ושלבי מחזור החיים שיעברו הערכה; הכנת רשימת מצאי של החומרים והתהליכים; רשימת האינדקטורים הסביבתיים וכללים לחישובם; הצגת התוצאות, פירושו ודיווחן; ודרישות הנוגעות למידע ולנתונים הנדרשים בתהליך.

התקן מתייחס לכל שלבי מחזור החיים של המבנה וביצוע ההערכה מתבסס על נתונים המתקבלים מהצהרות סביבתיות של מוצרים (EPD) ומקורות מידע נוספים. בהערכה נכללים כל המוצרים, התהליכים

<sup>11</sup> ISO 21930: Sustainability in buildings and civil engineering works - Core rules for environmental product declarations of construction products and services ([Link](#))

והשירותים בהם נעשה שימוש לאורך מחזור החיים של המבנה. התקן אינו כולל התייחסות לפרשנות או לשיפוט ערכי של התוצאות.<sup>12</sup>

#### 4.3 תקן אמריקאי ASTM E2921-22

תקן זה, פרי יוזמה של ארגון התקינה האמריקאי (American Society for Testing and Materials), אינו עוסק בהערכת מחזור החיים של מבנים כשלעצמה, אלא בפרקטיקה המקצועית הנדרשת כדי לבצע השוואה למבני ייחוס. התקן כולל דרישות וקווים מנחים לביצוע ניתוח השוואתי של ההשפעות הסביבתיות של מבנים למבני ייחוס מתאימים. הוא נועד לתמוך ולעודד את השימוש בהערכת מחזור חיים של מבנים במסגרת תקנים, כלי הערכה ומנגנוני הסמכה. זאת, על ידי גיבוש דרישות המסדירות את אופן ביצוע ההערכה והשוואה באופן המתייחס לאלמנטים ולמאפיינים הרלוונטיים, לשלבי מחזור החיים המתאימים ולפעילויות קשורות, באופן זה עבור המבנה המתוכנן והנבנה ועבור מבנה הייחוס.<sup>13</sup>

התקן מספק קריטריונים להערכת ההשפעה הסביבתית של מבנה בכל מחזור חייו על בסיס בחינת החומרים המשמשים בתהליך הבנייה וכן חומרים המשמשים לתחזוקה, לתפעול ותחלופת חומרים במהלך מחזור חייו. ניתן לעשות שימוש בתקן עבור בנייה חדשה ועבור תוספת למבנה קיים, והוא מותאם באופן פרטני לשימוש בתקנים, כלי הערכה ומנגנוני הסמכה למבנים.

התקן אינו מתייחס למתודולוגיית הביצוע של הערכת מחזור החיים של המבנה ואינו מנחה כיצד ליישם אותה. על כן, הוא שונה מהתקן האירופאי EN 15978. כמו כן, הוא אמנם אינו גובר או משנה תקני ISO קיימים שעוסקים באופן הביצוע של LCA ברמת החומרים והמוצרים, אך הוא מהווה אדפטציה של תקן ISO 21931<sup>14</sup> לתנאים הרגולטיביים המקומיים ולמאפיינים פרטניים בארה"ב. הקריטריונים המפורטים בתקן ניתנים לשימוש ללא קשר לכלי ההערכה המשמש לביצוע ה-LCA. כמו כן, התקן אינו עוסק בהשפעות הסביבתיות מהתנהגות המשתמשים במבנה, שינויים עתידיים בשימוש בבניין, שיפוץ או תרחישים אחרים אותם, על פי עורכי התקן, לא ניתן להעריך באופן סביר בשלבי התכנון והבנייה של המבנה.<sup>15</sup>

#### 4.4 תקן ומתודולוגיית RICS: Whole life carbon assessment for the built environment professional standard

מסמך זה הוא יוזמה של ה-Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS) שהוא גוף בריטי מקצועי בו כ-130,000 חברים הפועלים בתחומי הייזום, התכנון, ענפי הנדליין וענפי הבינוי והתשתיות. המסמך הוא הכלאה בין תקן לבין מסמך הנחיות. בדומה לתקן, הוא כולל דרישות שמטרתן להסדיר את אופן ביצוע תהליך ההערכה של מבנים, אך בנוסף הוא מתייחס גם לאופן היישום של המתודולוגיה בפועל וכולל הנחיות העוקבות אחר היישום שלב אחר שלב. פיתוח המסמך נעשה בין השאר במימון משרד התחבורה האנגלי וארגון Zero Waste Scotland המתוקצב על ידי ממשלת סקוטלנד. הגרסה הראשונה

<sup>12</sup> EN 15978:2011: Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method ([Link](#))

<sup>13</sup> ASTM E2921-22: Standard Practice for Minimum Criteria for Comparing Whole Building Life Cycle Assessments for Use with Building Codes, Standards, and Rating Systems. ([Link](#))

<sup>14</sup> ISO 21931-1:2022: Sustainability in buildings and civil engineering works — Framework for methods of assessment of the environmental, social and economic performance of construction works as a basis for sustainability assessment — Part 1: Buildings. ([Link](#))

<sup>15</sup> ASTM E2921-22: Standard Practice for Minimum Criteria for Comparing Whole Building Life Cycle Assessments for Use with Building Codes, Standards, and Rating Systems. ([Link](#))

של המסמך פורסמה בשנת 2017 ולאחרונה פורסם עדכון מקיף. על פי ה-RICS, מטרת המסמך היא להפוך לתקן המוביל בעולם למדידת פליטות חממה של הסביבה הבנויה.

המסמך מספק כאמור מתודולוגיה מפורטת למדידה ולכימות של פליטת חממה באמצעות הערכת מחזור חיים. הוא מבוסס על התקן האירופאי EN 15978 ועל פי הצהרת הכותבים נעשה מאמץ גדול לא לסתור את הדרישות בו, אלא להוסיף עליו רבדים נוספים של דרישות, הנחיות והסברים יישומיים. כך למשל, התקן של RICS מתאים להערכת פליטות החממה של כל סוגי המבנים אך גם של תשתיות ועבודות הנדסיות. כמו כן המתודולוגיה כוללת שני שלבים חדשים שאינם מופיעים בתקן EN 15978: שלב A0, שלב קדם בנייה, רלוונטי בעיקר עבור תשתיות והוא נועד לבחון את ההשפעה הסביבתית ממחקרים מקדימים, בדיקות תכנוניות ותהליכים שאינם פיזיים. שלב B8 בוחן השפעות סביבתיות מפעילויות של משתמשים שאינן נכללות בשלבים אחרים, כגון פליטות מכלי רכב והשפעות הנובעות מהיוממות של המשתמשים.

בעוד שהתקן נכתב במקור עבור חברי RICS, המטרה היא שהוא יאומץ על ידי כלל התעשייה. לטענת הכותבים, המתודולוגיה ניתנת ליישום במקומות שונים בעולם. ההנחות המספריות מבוססות אמנם על מיקומים ושיטות עבודה הנהוגות בבריטניה, אך על ידי יישום התאמות גיאוגרפיות המפורטות במסמך, ניתן ליישם את הדרישות וההנחות במדינות אחרות. היקף האימוץ של התקן כיום אינו גדול, אך תפוצתו מקודמת כיום באמצעות הפצת מידע, קיום וובינרים וכיו"ב.<sup>16</sup>

#### 4.5 סיכום

פרקטיקת ה-LCA מעוגנת כאמור בתקני ISO 14040 ו-ISO 14044 אשר קובעים עקרונות, מסגרת פעולה, דרישות והנחיות, ותקני ISO 14025 ו-ISO 21930 הקובעים מסגרת ודרישות להכנת הצהרות סביבתיות למוצרים (EPD). התקן האירופאי EN 15978 הוא הראשון המגדיר מתודולוגית חישוב פרטנית להערכת הביצועים הסביבתיים של מבנה כמכלול ומספק קווים מנחים לדיווח ולתקשור של תוצאת ההערכה. מתודולוגיית החישוב המתוארת ב-EN 15978 מהווה, הלכה למעשה, מתודולוגיית LCA למבנה או מתודולוגיית WBLCA. התקן משמש כיום ברבות ממערכות ההסמכה לבנייה ירוקה באירופה ואף מחוץ לאירופה, כולל LEED (ארה"ב) וגרין סטאר (אוסטרליה) והוא מהווה כיום המתודולוגיה הנפוצה והמקובלת להערכת מחזור חיים של מבנה. התקן האמריקאי ASTM E2921-22 עוסק בהיבט פרטני של ניתוח מחזור חיים - בפרקטיקה המקצועית הנדרשת כדי לבצע השוואה למבני ייחוס במסגרת תהליך של הערכת מחזור חיים למבנים. התקן אינו מתייחס למתודולוגיית הביצוע של הערכת מחזור החיים של המבנה ואינו מנחה כיצד ליישם אותה. בהתאם לכך, הוא שונה מהתקן האירופאי EN 15978 ועוסק בהיבט אחד ומצומצם יחסית. תקן ומתודולוגיית RICS להערכת מחזור חיים הינו מסמך חדש יחסית המהווה מעין הכלאה בין תקן לבין מסמך הנחיות, מבוסס על התקן האירופאי EN 15978 אך מרחיב אותו ומפרט את אופן יישום המתודולוגיה.

סיכום התקינה הבינלאומית		
תקן	גוף יוזם	מטרה
ISO 14040	ארגון התקינה הבינלאומי	קובע את העקרונות והמסגרת להערכת מחזור החיים (LCA) ומגדיר את שלבי הניתוח
ISO 14044	ארגון התקינה הבינלאומי	משלים את תקן ISO 14040 באמצעות הגדרת דרישות וקווים מנחים לביצוע שלבי הניתוח שהוגדרו בו
ISO 14025	ארגון התקינה הבינלאומי	קובע עקרונות ומפרט תהליכים לצורך פיתוח תוכניות להצהרות סביבתיות (EPD)

<sup>16</sup> Simon Sturgis et al, Whole life carbon assessment for the built environment: Professional standard, Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS), London, 2023. ([Link](#))

מגדיר עקרונות ודרישות להכנת הצהרות סביבתיות עבור חומרים, מוצרים ושירותים בענף הבנייה	ארגון התקינה הבינלאומי	ISO 21930
מגדיר מתודולוגיה להערכת הביצועים הסביבתיים של מבנה ומספק קווים מנחים לדיווח ולתקשור של תוצאת ההערכה. מהווה, הלכה למעשה, מתודולוגיית WBLCA מלאה	הועדה האירופית לסטנדרטיזציה	EN 15978
עוסק בפרקטיקה המקצועית הנדרשת לביצוע השוואה למבני ייחוס במסגרת תהליך של הערכת מחזור חיים למבנים. קובע דרישות המסדירות את אופן ביצוע ההערכה והשוואה כך שהן יתבצעו באופן המתייחס לאלמנטים ולמאפיינים הרלוונטיים ושלבי מחזור החיים המתאימים	ארגון התקינה האמריקאי	ASTM E2921-22
מהווה מעין הכלאה בין תקן לבין מסמך הנחיות. מבוסס על התקן האירופאי EN 15978 אך מרחיב אותו ומפרט את אופן יישום המתודולוגיה	Royal Institution of Chartered Surveyors	תקן ומתודולוגיית RICS

פרק זה סוקר את אופן הטמעת המתודולוגיה להערכת מחזור חיים של מבנים במסגרת הרגולציה הציבורית במקומות שונים בעולם. הפרק סוקר אמצעי מדיניות רגולטיביים ברמת המדינה בקנדה, הולנד, דנמרק, צרפת וניו זילנד וברמה העירונית בלונדון ובוונקובר. ככלל, המדינות בהן ההתייחסות לנושא היא המתקדמת ביותר הינן מדינות אשר מנהלות ומקדמות מדיניות סביבתית שאפתנית גם בנושאים אחרים. כמו כן, המדינות עם הדרישות המתקדמות ביותר בנושא אנרגיה אופרטיבית הן גם המדינות המבקשות לקדם מדיניות ורגולציה שנוגעת לאנרגיה גלומה. זאת משום שככל שהמדיניות בנושא אנרגיה אופרטיבית משיאה פרי ומביאה להפחתת פליטות, האנרגיה הגלומה הופכת להיות משמעותית יותר להשגת יעדי ההפחתה הלאומיים.

### 5.1 קנדה

קנדה היא מהמדינות המתקדמות בעולם בכל הנוגע להטמעת מדיניות סביבתית בכלל וצמצום ההשפעה הסביבתית ממבנים בפרט. מרכז המחקר בנושאי בנייה, הפועל תחת מועצת המחקר הלאומית של קנדה (National Research Council of Canada), פועל להעמקת המחקר והפיתוח בתחום כדי לתמוך במאמצים של הממשלה ובהתחייבויותיה להקטנת פליטות בכלל הסקטור. אחד מתחומי הפעולה והמחקר המרכזיים נוגע לגיבוש מסגרת רגולטיבית שתקדם סקטור בנייה דל פחמן. בהקשר זה פועל המרכז לפיתוח דרישות חדשות והטמעתן במסגרת אמצעים רגולטיביים כגון תקנים, חוקים והנחיות. בין השאר עוסק המרכז בעדכון המפרט הלאומי לבנייה Canadian National Master Construction Specification. מסמך זה משמש את הממשל הקנדי, גורמים ציבוריים וחברות פרטיות להכנת מפרטי תכנון ולאפיון דרישות בחוזי התקשרות עם יזמים, קבלנים וספקים. המסמך מכיל מפרטי עיצוב ובנייה של מודלים שונים ומשמש גם עבור מבנים וגם עבור תשתיות. כיום ממשלת קנדה מבקשת על ידי עדכון המסמך לקדם יעדים להפחתת פליטות באמצעות הטמעת יעדי ביצועים ניתנים למדידה ונהלים מחייבים.<sup>17</sup>

אמצעי מדיניות נוסף המקודם בקנדה הוא עדכון של קוד הבנייה הלאומי. כיום, אין בקנדה רגולציה המחייבת ביצוע הערכת מחזור חיים למבנים, אך יש כוונה להטמיע חובה כזאת בעתיד הקרוב. על פי התכנון, העדכונים הבאים של הקוד בשנים 2025 ו-2030, יגובשו כך שיוכלו לאפשר רגולציה יעילה יותר של פליטות פחמן ממבנים (גלומות ואופרטיביות) ויכללו דרישות לעמידה בביצועים סביבתיים. מחקר חדש ופתרונות טכניים להפחתת פחמן יתמכו בדרישות הללו, כולל הערכת מחזור חיים, ביצועי מחזור חיים של מבנים ותשתיות, דיגיטציה, שיטות בנייה וחומרים.<sup>18</sup>

במטרה לעמוד ביעדי הפחתת הפליטות אליהן התחייבה, גיבשה ממשלת קנדה אסטרטגיה לאומית אשר מאגדת סל של פעולות ואמצעים (The Greening Government Strategy). בין השאר היא כוללת התחייבות לצמצום ההשפעה הסביבתית מחומרי בנייה ומחויבות לתמרץ יצרנים לנתח ולשקף מידע אודות היקף הפליטות וההשפעה הסביבתית שלהם. כדי לתמוך בכך, פורסם תקן חדש שעוסק בפחמן גלום בבנייה ונכנס לתוקף החל מתחילת שנת 2023. התקן מחייב חשיפה והפחתה של 10% בטביעת הרגל הפחמנית

<sup>17</sup> Government of Canada, Platform to Decarbonize the Construction Sector at Scale ([Link](#))

<sup>18</sup> Government of Canada, Platform to Decarbonize the Construction Sector at Scale ([Link](#))

עבור כל חומרי הבטון בשימוש בפרויקט. נכון לכתובת שורות אלה חובה זו חלה על פרויקטים גדולים שעלותם גבוהה מ-10 מיליון דולר אך קיימת כוונה להרחיב חובה זו בעתיד לפרויקטים קטנים יותר.<sup>19</sup>

בשנת 2022 פורסם על ידי המועצה הקנדית הלאומית למחקר (National Research Council Canada) מסמך הנחיות שמטרתו לספק קווים מנחים לביצוע הערכת מחזור חיים למבנים. המסמך נועד לתת מענה לאי-הבהירות הקיימת ביחס להיבטים פרקטיים שונים בעת יישום בפועל של המתודולוגיה. ככלל, המסמך נועד להסדיר את הפרקטיקה של הערכת מחזור חיים של מבנים בקנדה, לסייע בהבנת הדרישות של התקינה הרלוונטית ולסייע לעמוד בהן הלכה למעשה. המסמך מיועד עבור אנשי מקצוע בעלי היכרות בסיסית עם המתודולוגיה להערכת מחזור חיים של מבנה, והוא עתיד להתעדכן מעת לעת בהתאם להתפתחות של המתודולוגיה ושל התקינה. למסמך ארבעה יעדים עיקריים: (1) להבטיח את מהימנות התוצאות ולהגדיל את היכולת לבצע השוואה בין תוצאות של ניתוחים שונים; (2) לאפשר ביצוע חישובים על בסיס נתוני בסיס ואמות מידה מקובלים ואמינים; (3) לתמוך ביכולת לספק הוכחות לעמידה בדרישות של תקנים ושל מנגנוני הסמכה לבנייה ירוקה; (4) לתמוך בפיתוח ושימוש בכלי תוכנה ככלי עזר לביצוע התהליך. מבנה המסמך עוקב אחר מבנה תקן EN 15978 שמגדיר מתודולוגיה להערכת מחזור חיים של מבנים. זאת משום שעל פי עורכי המסמך, על אף שלא מדובר בתקן בינלאומי (אלא בתקן אירופאי), הוא זוכה להכרה כתקן המתקדם ביותר בתחום. המסמך מבהיר את כוונות התקן באמצעות הסברים ומספק הנחיות לעמידה בדרישות. כל פרק במסמך מתייחס לפרק רלוונטי בתקן עצמו. מבנה זה גם נמצא בהלימה עם שלבי היישום של המתודולוגיה להערכת מחזור החיים של מבנה. בדומה לתקן האירופאי, פרקי המסמך מתייחסים לנושאים הבאים: מטרת ההערכה, אפיון המבנה מושא ההערכה, תרחישים להגדרת מחזור החיים של הבניין, כימות החומרים במחזור החיים של המבנה, בחירת המידע הסביבתי הרלוונטי (כמות ואיכות), חישוב ההשפעה הסביבתית על פי הפרמטרים שנבחרו, הצגת הממצאים, ודיווח ובקרה. כל פרק במסמך כולל הצגה של הוראות רלוונטיות מהתקן, מתן רקע והדרכה בנושאים המצויים בו, הסברים שנועדו לגשר על פערי הבנה והנחיות ביחס לשיטות עבודה ולפעולות מומלצות. כמו כן מתייחס המסמך לתקן ISO 21930 (שקובע דרישות להצהרות סביבתיות של מוצרים - EPD), וזאת בהתייחס לתחום, למתודולוגיה ולמגבלות הניתוח בכל הנוגע לביצוע LCA במבנים. מסמך ההנחיות מגדיר כי שלבי החיים אליהם יש להתייחס יקבעו בהתאם לתזמון ביצוע הניתוח אך על הניתוח להתייחס לכל הפחות לשלבי הייצור A1-A4, שלב הבנייה B4, וסוף החיים C2-C4. במסגרת הניתוח יש להתייחס לרשימה מקיפה של אלמנטים בבניין שבעיקרם כוללים את הגרעין, המעטפת וחומרי הפנים. את ההשוואה של הביצועים הסביבתיים של המבנה המתוכנן יש לבצע ביחס למבנה ייחוס תאורטי או קיים. על מבנה הייחוס לבטא סטנדרט בנייה טיפוסי המשקף את הבנייה המקומית ולהיות זהה למבנה המתוכנן במגוון מאפיינים המתוארות במסמך כדוגמת שטח, גודל וכיו"ב. מסמך ההנחיות אינו קובע את משך מחזור החיים של הבניין הנדרש לטובת הניתוח וההנחיה היא כי את אורך התקופה יש לקבוע על פי מטרות הניתוח או בהתאם למדיניות התקפה. ברירת המחדל היא 60 שנה.<sup>20</sup>

## 5.2. הולנד

בהולנד פותחה מתודולוגיה מקומית ייחודית להערכת השפעות סביבתיות של מבנים לאורך מחזור חייהם. המתודולוגיה בוחנת את ההשפעות הסביבתיות של החומרים במבנה ומתייחסת ל-12 אינדיקטורים, ביניהם פוטנציאל התחממות גלובלית (GWP) ודלדול שכבת האוזון. במסגרת הפרויקט פותח גם מאגר מידע אינטרנטי לאומי הכולל מידע אודות ההשפעה הסביבתית של חומרים ומוצרים בשימוש נפוץ בתעשיית הבנייה בהולנד (באמצעות הצהרות EPD) ואשר מהווה נדבך מרכזי בפרויקט.

<sup>19</sup> Government of Canada, Standard on Embodied Carbon in Construction ([Link](#))

<sup>20</sup> Matthew Bowick et al, National guidelines for whole-building life cycle assessment, National Research Council Canada, 2022. ([Link](#))

המתודולוגיה כוללת גם כלי חישובי המסייע בביצוע התהליך, וזאת בדומה לכלים חישוביים אחרים הקיימים בשוק לביצוע WBLCA. הכלי החישובי מקושר למידע הנמצא במאגר הלאומי.<sup>21</sup>

המתודולוגיה ההולנדית ייחודית בכך שבשונה משיטות אחרות, מטרתה לכמת את העלות של הבניין במונחים של השפעה סביבתית. ההנחה של המתודולוגיה היא כי ההשפעה הסביבתית ניתנת למדידה בערך כספי שמהווה 'עלות צל' (Shadow Cost). 'עלות הצל' היא העלות ההיפותטית הנדרשת כדי למתן השפעה סביבתית של חומר או כדי לפצות עליה. חילוק של עלות תאורטית זו בשטח המבנה (במ"ר) ומשך תקופת השירות של המבנה (בשנים) מביא לידי תוצאה (ערך) אשר, על פי המתודולוגיה, מכמתת את ההשפעה הסביבתית של המבנה.

את הניתוח יש לבצע עבור כל שלבי החיים של הבניין מלבד צריכת האנרגיה האופרטיבית והשימוש במים (B6-B7). האלמנטים בבניין שיש לכלול בניתוח כוללים את היסודות והאלמנטים הקונסטרוקטיביים, רצפות, אלמנטים של המעטפת, גגות ומתקנים. ההגבלה היא לחומרים הנמצאים במאגר הלאומי בלבד. המתודולוגיה לא מגדירה את משך חיי השירות של המבנה שיש לקחת בחשבון. יחד עם זאת, הכלי החישובי הנלווה למתודולוגיה מגדיר ערכי ברירת מחדל של 50 שנה למבני מגורים ו-75 שנה למבני משרדים.<sup>22</sup>

על פי קוד הבנייה בהולנד, עריכת ניתוח מחזור החיים והגעה לערכי MPG היא חובה בכל פרויקט בנייה. נקבע כי על ערך ה-MPG להיות נמוך מ-1 יורו למ"ר שטח ברוטו בשנה.<sup>23</sup> החל מיולי 2021 הדרישות עבור מבני מגורים עודכנו ונכון להיום על ערך זה להיות נמוך מ-0.8 יורו למ"ר ברוטו משטח הבניין בשנה. מדיניות הממשלה היא להמשיך ולהקשיח את הדרישות גם בעתיד. חשוב לציין כי ממשלת הולנד הטמיעה את המתודולוגיה במדיניות הרכש וציון ה-MPG מהווה תנאי להתקשרות עם יזמים וקבלני בנייה. עבור יצרנים וספקים של מוצרי בנייה המדיניות מהווה תמריץ להפחית את ההשפעה הסביבתית של מוצריהם בכדי להגדיל את סיכוייהם לזכות במכרזים המיועדים לבנייה ממשלתית.<sup>24</sup>

### 5.3. דנמרק

הרגולציה שנוגעת לנושא מבנים בדנמרק, ובכלל זה הרגולציה המתייחסת לביצועים אנרגטיים ולפליטות ממבנים, מעוגנת בתקנות BR18 המתעדכנות מעת לעת בדומה לקוד הבנייה בישראל. תקנות אלה מתייחסות בין השאר ליעילות האנרגטית ולצמצום פליטות פחמן אופרטיביות ופליטות פחמן גלום. הדרישות מסווגות על פי סוגי מבנים ועל פי שטחם, כאשר עמידה בתקנות היא תנאי הכרחי לקבלת היתר אכלוס.

החל משנת 2023, על כל פרויקט בנייה חדש בדנמרק לבצע ניתוח הערכת מחזור חיים בהתייחס לשלבים הבאים: שלבי ייצור חומרים (A1-A3), שינוע (A4), תהליך הבנייה (A5), החלפות חומרים (B4), אנרגיה אופרטיבית (B6) ושלבי עיבוד חומרי הפסולת וסילוקם (C3-C4). בניתוח יש לכלול היקף נרחב של אלמנטים של הבניין כולל שטחי הפיתוח. רשימה מלאה ניתן למצוא באתר אינטרנט ייעודי.<sup>25</sup> הניתוח

<sup>21</sup> Dutch Environmental Database ([Link](#))

<sup>22</sup> Construction Carbon Regulations in Europe: Review and Best Practices, OneClick LCA, 2022. ([Link](#))

<sup>23</sup> Teuffel Engineering Consulting, MPG – Environmental Performance of Buildings and the Sustainability of Constructions ([Link](#))

<sup>24</sup> MPG Database ([Link](#))

<sup>25</sup> BR18 Site ([Link](#))

מתבצע לפרק זמן של 50 שנה. על מבנים חדשים ששטחם למעלה מ-1,000 מ"ר לעמוד ביעד פליטות מקסימלי שלא יעלה על 12 ק"ג CO<sub>2</sub> (ופליטות אקוויוולנטיות) למ"ר בשנה. כדי להקל על ביצוע הניתוח פיתחה ממשלת דנמרק מאגר מידע הכולל מידע על ההשפעות הסביבתיות של רבים מהחומרים והמוצרים בשימוש בתעשיית הבנייה. יעד הפליטות המקסימלי שנקבע בתקנות עתיד להתעדכן מעת לעת, וכן יש כוונה להחיל את המגבלות גם על מבנים ששטחם קטן יותר. פרויקטי שיפוץ אינם מחויבים כיום לעמוד ברגולציה החדשה אך ישנה כוונה לחייב גם אותם בעתיד.<sup>26</sup>

#### 5.4. נורבגיה

פעילות הבנייה בנורבגיה כפופה לתקנות הבנייה הנקבעות על ידי הפרלמנט ברמה הלאומית. התקנות הנוגעות לפרקי האנרגיה ופליטת גזי החממה עברו עדכון אשר נכנס לתוקף ביולי 2022 עם תקופת מעבר של שנה שלאחריה הם הפכו מנדטוריים. על פי התקנות, כל מבני המגורים בבנייה רוויה ומבני המסחר מחויבים לבצע חישוב של פליטות גזי חממה על בסיס מתודולוגיה נורבגית מקומית NS 3720:2018 ולדווח על התוצאות. מתודולוגיה זו מבוססת על התקן האירופאי EN 15978. בתחילה הוצע לחייב עמידה בערכי סף אך כוונה זו בוטלה לאחר התייעצות עם גורמים בשוק ולא ברור האם ערכים כאלו יוגדרו בעתיד.

בנורבגיה לא הוקם מאגר מידע לאומי הכולל נתונים אודות ההשפעות הסביבתיות מחומרים על בסיס EPD או ערכים גנריים. כמו כן אין המלצה על שימוש במאגר מידע פרטני. שלבי החיים שיש חובה לכלול בניתוח הם שלבי ייצור חומרים (A1-A3), שינוע (A4) והחלפות חומרים (B4). כמו כן יש לכלול ניתוח של האנרגיה האופרטיבית במהלך חיי הבניין. תקופת חיי השירות של הבניין מוגדרת ל-60 שנה והפרמטר הנמדד לכימות ההשפעה הסביבתית הוא פוטנציאל התחממות כדור הארץ (GWP). את הניתוח יש לבצע עבור כל האלמנטים בבניין.

מינהל הרכש הממשלתי בנורבגיה, הממונה על הפיתוח, הבנייה והניהול של נכסי המדינה, הגדיר יעדים סביבתיים שאפתניים הכוללים ביצוע של ניתוחי הערכת מחזור חיים למבנים עוד לפני שהרגולציה נכנסה לתוקף. כמו כן, ערים גדולות כדוגמת אוסלו וברגן הגדירו יעדים להפחתת פחמן והן מחייבות ביצוע הערכת מחזור חיים ללא קשר לרגולציה הלאומית. עיריית ברגן אף פרסמה מדריך מטעמה להערכת פליטות פחמן ממבנים במחזור חיים.<sup>27</sup>

#### 5.5. צרפת

תקנות חדשות שאושרו בצרפת בשם RE2020 נועדו לצמצם את ההשפעה הסביבתית של מבנים על ידי שילוב דרישות של יעילות אנרגטית ושיקולי פליטות פחמן בהערכת מחזור חיים. על פי ההנחיות החדשות, החל מספטמבר 2021 על כל פרויקט בנייה לבצע חישוב של פליטות גזי החממה האופרטיביות והגלומות ולהוכיח עמידה ביעדים שהוגדרו. יעדים אלו עתידים להתעדכן מדי מספר שנים כך שעד לשנת 2031 פליטות הפחמן ממבנים יצומצמו ב-52% ביחס להיקף הפליטות בשנת 2022 ועד שנת 2050 יתבצע איפוס מלא.

<sup>26</sup> Bech-Bruun, New climate requirements in the building regulations, December 2022. ([Link](#))

<sup>27</sup> Panu Pasanen et al, The Embodied Carbon Review: Embodied Carbon Reduction in 100+ Regulations & Rating Systems Globally, OneClick LCA, 2018. ([Link](#))

בדומה למדינות אחרות, גם בצרפת הוקם מאגר מידע מקיף הכולל מידע על ההשפעות הסביבתיות מחומרים ומוצרים. מאגר זה כולל מידע על למעלה מ-2,500 מוצרים, חומרים ומערכות בשימוש ענף הבנייה.<sup>28</sup> יישום בפועל של ההנחיות נתמך על ידי מערך תיווי בשם the Énergie Positive & Réduction Carbone (E+C) label שכולל מתודולוגיה להערכת מחזור חיים שפותחה יחד עם התעשייה. הבדיקה מתבצעת על ידי חמישה מכוני בקרה שהוסמכו לבצע את ההערכה ולהעניק את התיווי.<sup>29</sup> הביצועים האנרגטיים של הבניין נבחנים בהשוואה לנתוני ייחוס שהוגדרו לסוגי שימושים שונים. נקבעו ארבע רמות של ביצועים אנרגטיים כאשר הגבוהה ביותר היא מבנה מאופס אנרגיה. שיטות החישוב של הביצועים האנרגטיים ופירוט היעדים פורסמו במסמך טכני ייעודי.<sup>30</sup> מערך התיווי מעודד שימוש בתוכנות וכלי עזר לטובת ביצוע הניתוח ובאתר האינטרנט שלו רשימה של התוכנות בהם ניתן לעשות שימוש.<sup>31</sup> משך חיי השירות של המבנה לטובת הניתוח הוגדר כ-50 שנה.<sup>32</sup> תכולת הניתוח כוללת את כלל האלמנטים של הבניין כולל שטחי הפיתוח במגרש. שלבי החיים שיש חובה לכלול בניתוח הם שלבי ייצור חומרים (A1-A3), שינוע (A4), תהליך הבנייה (A5), החלפות חומרים (B4), אנרגיה אופרטיבית (B6), שלבי סוף החיים (C1-C4), וההשפעות שמעבר לגבולות הניתוח (D).<sup>33</sup>

## 5.6. שוודיה

החוק הלאומי החדש בנושא "הצהרות אקלימיות למבנים" מסדיר הפחתה של פליטות פחמן גלומות בענף הבנייה. החוק אשר נכנס לתוקף ב-1 בינואר 2022 מחייב כי עבור כל בנייה חדשה ששטחה למעלה מ-100 מ"ר תוגש 'הצהרת אקלים' כתנאי להיתר אכלוס. ההצהרה האקלימית מתייחסת להיקף פליטות החממה מהמבנה על בסיס ניתוח מחזור חיים. החוק נוגע רק לבנייה חדשה ואינו חל על פרויקטי שיפוץ. כמו כן, שבדיה הודיעה כי היא עתידה לקבוע ערכי סף מחייבים לטביעת הרגל הפחמנית של בניין עד שנת 2027.

ניתוח מחזור החיים של מבנים מתבצע על בסיס מתודולוגיה לאומית. הניתוח מתבצע לאחר סיום הפרויקט ותוצאות הניתוח משקפות את ההשפעה הסביבתית של המבנה במצבו הבנוי והשלם. המתודולוגיה מגדירה כי שלבי החיים שיכללו בניתוח הם אלו המשפיעים על האנרגיה הגלומה בלבד: שלבי הייצור (A1-A3), שינוע לאתר בנייה (A4) והבנייה (A5). מידע אודות ההשפעות הסביבתיות של מוצרים יש לבסס על הצהרות EPD וככל שאין כאלו ניתן לעשות שימוש במאגר מידע לאומי במסגרתו גובשו ערכים גנריים לפליטות מחומרים ומוצרים נפוצים בשוק המקומי. ניתוח הפליטות מהשינוע לאתר הבנייה (A4), כמו גם צריכת האנרגיה באתר הבנייה (A5) יש לערוך על ידי שימוש בערכים גנריים ממאגר המידע הלאומי.<sup>34</sup>

<sup>28</sup> Ministry of Ecological Transition and Territorial Cohesion, RE2020 environmental regulations, 17.2.23. ([Link](#))

<sup>29</sup> Énergie Positive & Reduction Carbon Label. ([Link](#))

<sup>30</sup> Ministère de L'environnement, de l'énergie et de la Mer, Référentiel «Energie-Carbone» pour les bâtiments neufs, Niveaux de performance «Energie – Carbone » pour les bâtiments neufs, 2016. ([Link](#))

<sup>31</sup> Énergie Positive & Reduction Carbon Label, List of software tools available. ([Link](#))

<sup>32</sup> Énergie Positive & Reduction Carbon Label, Scope of Application. ([Link](#))

<sup>33</sup> Construction Carbon Regulations in Europe: Review and Best Practices, OneClick LCA, 2022. ([Link](#))

<sup>34</sup> Panu Pasanen et al, The Embodied Carbon Review: Embodied Carbon Reduction in 100+ Regulations & Rating Systems Globally, OneClick LCA, 2018. ([Link](#))

ממשלת ניו זילנד חותרת להשגת יעד של איפוס פחמן עד שנת 2050. לשם כך הממשלה פרסמה מסגרת פעולה להפחתת פליטות בסקטור הבנייה אשר כוללת, בין השאר, התייחסות לצמצום הפחמן הגלום במבנים באמצעות הטמעת שיקולים המתייחסים לכלל מחזור החיים שלהם. בהמשך לכך פורסמה בשנת 2020 הצעה (שעד כה לא אושרה) להחיל דרישה גורפת לביצוע הערכת מחזור חיים לכלל המבנים החדשים כחלק מהליכי התכנון וכתנאי לאישור הפרויקט. על פי ההצעה, בעתיד יגובשו דרישות מחייבות להפחתת פליטות כתנאי לקבלת היתר בנייה. דרישות אלו יוקשחו במהלך הזמן בהתאם ללוח זמנים שיוגדר מראש ובהתאם לשיתוף פעולה עם גורמי תעשייה.<sup>35</sup>

בהמשך להצעה, פורסם מסמך שמטרתו להציע בסיס מתודולוגי שיספק מענה ככל שההצעה לחייב הערכת מחזור חיים אכן תאושר. המסמך מפרט את המתודולוגיה המוצעת להערכת מחזור חיים של מבנים בניו זילנד, שבעיקרה נשענת על התקינה הבינלאומית שנסקרה בפרקים קודמים במסמך זה. את המתודולוגיה ניתן ליישם לאורך כל שלבי התכנון והבנייה של הפרויקט כאשר מוצע כי הדיווח יתבצע לקראת קבלת היתר הבנייה. המתודולוגיה קובעת כי יש להתייחס לכל שלבי מחזור החיים של הבניין מלבד שלבים B6-B7 המתייחסים לאנרגיה האופרטיבית ולצריכת המים בשלב התפעול. במסגרת הניתוח יש להתייחס לכל הפחות לאלמנטים הבאים בבניין: מסד, יסודות, מרתפים, קונסטרוקציה, קירות חיצוניים ופנימיים, גגות, שכבות המעטפת, חלונות, דלתות, חומרי גמר של קירות ורצפות ומערכות מיזוג ואקלים. משך חיי השירות של המבנה לטובת הניתוח הוגדר כ-50 שנה.<sup>36</sup>

## 5.8. לונדון

התוכנית האסטרטגית של לונדון משנת 2021 קובעת מסגרת לפיתוח כלכלי, סביבתי, תחבורתי וחברתי ל-20-25 השנים הבאות. תכנית זו כוללת מנעד רחב של אמצעי מדיניות במגוון תחומים. אחד מאמצעי המדיניות בתחום הסביבה מתייחס לצמצום פליטות גזי חממה וקובע דרישות לחישוב ולדיווח של פליטות גזי חממה במבנים באמצעות הערכת מחזור החיים של מבנים. דרישות אלו חלות על פרויקטי בנייה הכוללים למעלה מ-150 יח"ד או שגובהם למעלה מ-30 מטר.<sup>37</sup> נכון לכתובת שורות אלו לא נקבעו עדיין דרישות להפחתת פליטות, אך בשנת 2022 פרסמה עיריית לונדון מסמך הנחיות לביצוע הערכת מחזור חיים למבנים אשר מפרט את שיטת העבודה ואת המתודולוגיה בה יש לעשות שימוש. המסמך כולל הסברים ביחס לאופן ביצוע החישוב והמידע אותו יש לדווח. כמו כן המסמך כולל מידע אודות עקרונות תכנון אותם כדאי לקחת בחשבון בתהליך התכנון של הפרויקט שיהוו כלי עזר בידי אנשי המקצוע. בנוסף כולל המסמך התייחסות לנתוני ייחוס המאפשרים השוואה, התייחסות לתוכנות ולכלי עזר לביצוע הניתוח, שלבי מחזור החיים אותם יש לבחון וכן האלמנטים של הבניין אותם יש לקחת בחשבון.

על פי מסמך ההנחיות יש להתחיל את הניתוח בשלב מוקדם של תהליך התכנון ולהעריך את ההשפעות הסביבתיות של חלופות התכנון מעת לעת. את הדיווח יש לבצע בשלושה מועדים – בקשה מוקדמת (בפרויקטים רלוונטיים), בקשה להיתר ועם תום הבנייה ולפני האכלוס. את הדיווח יש לבצע בתבנית אקסל שפותחה במיוחד לכך וכוללת התייחסות לכל המידע הרלוונטי לדיווח בכל שלב. בדיווח יש

<sup>35</sup> New Zealand Government, Whole-of-Life Embodied Carbon Emissions Reduction Framework, Ministry of Business Innovation & Employment, 2020. ([Link](#))

<sup>36</sup> New Zealand Government, Whole-of-Life Embodied Carbon Assessment: Technical Methodology, Ministry of Business Innovation & Employment, 2022. ([Link](#))

<sup>37</sup> Mayor of London, London Plan, Policy SI 2 - Minimizing greenhouse gas emissions, 2021. ([Link](#))

להתייחס לאמצעים שננקטו ושיינקטו להפחתת היקף הפליטות בשלבי מחזור החיים של הפרויקט. על הניתוח להתבצע בהתאם לתקן האירופי EN 15978 ולכלול את כל שלבי החיים המפורטים בתקן A-D. משך חיי השירות של המבנה לטובת הניתוח הוגדר כ-60 שנה. האלמנטים שיש לכלול בניתוח מפורטים גם הם במסמך ההנחיות וכוללים בין השאר: חומרים עיקריים מהריסת מבנה קיים, חומרים המשמשים למסד, אלמנטים של גרעין ומעטפת, קירות חיצוניים ופנימיים, גגות, רצפות, מרפסות, מדרגות, רמפות, דלתות וחומרי גמר של קירות, מערכות אינסטלציה, חשמל, ביוב, מים וכיו"ב וכן חומרי פיתוח כגון גדרות, דרכים, שבילים, מערכות השקיה ומערכות ניקוז. לטובת העניין פותחו נתוני ייחוס הרלוונטיים לטיפולוגיות הבנייה הנפוצות בעיר על פי סוג השימוש (משרדים, מגורים, מסחר ומוסדות חינוך). את תוצאות הניתוח יש להשוות לנתוני הייחוס של הטיפולוגיה המתאימה ביותר עבור הפרויקט. נתוני הייחוס מוגדרים כטווח ולא כערך מוגדר והם מחולקים על פי שלבי מחזור החיים כך שלכל שלב גובש נתון ייחוס משלו. ככל שתוצאת הניתוח שונה מנתוני הייחוס (גבוהה או נמוכה יותר) יש להסביר את הסיבות לכך על ידי מילוי המידע הרלוונטי בתבנית האקסלית. נתוני ייחוס נוספים גובשו כדי לשקף יעדים שאפנתניים והם מבוססים על הפחתה של 40% מנתוני הייחוס הבסיסיים. את הניתוח מוצע לערוך על ידי כלי תוכנה שפותחו על ידי צד שלישי. רשימה של תוכנות וכלי עזר מוכרים ומקובלים מצורפת למסמך ההנחיות.<sup>38</sup>

## 5.9. ונקובר

ונקובר היא מהמובילות ביישום רגולציה סביבתית מבין הערים בקנדה. בין השאר, העיר פועלת במגוון אמצעים במטרה להגיע ליעד של אפס פליטות פחמן אופרטיביות ממבנים חדשים עד שנת 2030. כמו כן תוכנית הפעולה לשעת חירום בנושא אקלים של ונקובר (Vancouver's Climate Emergency Action Plan), שאושרה בשנת 2020, קבעה יעד הפחתה של 40% באנרגיה הגלומה במבנים עד שנת 2030. במטרה לעמוד ביעד זה אישרה בשנת 2022 מועצת העיר עדכון של תקנות הבנייה העירוניות Vancouver Building By-law כך שכיום הן מחייבות לחשב את הפליטות באמצעות הערכת מחזור חיים וקובעות רף של היקף פליטות מקסימלי. בעתיד קיימת כוונה להחמיר את הדרישות.<sup>39</sup>

לטובת עמידה בדרישות של התקנות החדשות פורסם להערות הציבור באוגוסט 2023 מסמך שמטרתו לספק הנחיות לביצוע הערכת מחזור חיים ולהוכחת עמידה בדרישות. ההנחיות נועדו לסייע גם לעמידה בדרישות רגולטוריות אחרות, כיום ובעתיד, שנוגעות לחישוב או הפחתת פחמן גלום בבנייה. המסמך מנחה כיצד לייצר רשימת מצאי של החומרים הרלוונטיים, כיצד לבצע את כימות פליטות הפחמן ונוגע גם בעקרונות תכנון להפחתת ההשפעות הסביבתיות של מבנים כגון תכנון לפירוק ועוד. על פי ההנחיות, על הבדיקה להתייחס לכל הפחות לשלבים A1-A5, B1-B5 ו-C1-C4. רשימת האלמנטים אותם יש לכלול בניתוח מפורטת במסמך והיא כוללת מגוון אלמנטים ובהם: יסודות, אלמנטים של המעטפת, אלמנטים קונסטרוקטיביים, קירות, רצפות, גגות, מדרגות, חלונות חיצוניים ודלתות חיצוניות. משך חיי השירות של המבנה לטובת הניתוח נקבע ל-60 שנה.<sup>40</sup>

כדי לתמוך בהטמעת חדשנות בתכנון ובבנייה של מבני מגורים בבנייה רוויה שחותרים להגיע לאיפוס אנרגיה, יזמה עיריית ונקובר סל תמרצים. המרכזי שבהם הוא הגדלת זכויות הבנייה בעד 5% מכלל שטחי הבנייה המאושרים עבור מבנים אשר יזכו להסמכה כמבנים מאופסי אנרגיה על ידי מנגנוני הסמכה רלוונטיים (Passive House או של International Living Future Institute Zero Energy standard). התמריץ ניתן עבור מבני מגורים בני 6 יח"ד ומעלה.<sup>41</sup>

<sup>38</sup> Mayor of London, London Plan Guidance, Whole Life-Cycle Carbon Assessments, 2022. ([Link](#))

<sup>39</sup> City of Vancouver, Zero Emissions Buildings ([Link](#))

<sup>40</sup> City of Vancouver, Embodied Carbon Guidelines, Version 0.3 – DRAFT for External Review. ([Link](#))

<sup>41</sup> City of Vancouver, building catalyst tools, zero emissions building tools. ([Link](#))

פרק זה סקר את אופן הטמעת המתודולוגיה להערכת מחזור חיים של מבנים במסגרת הרגולציה הציבורית במקומות שונים בעולם. צעד מדיניות מרכזי הוא עדכון קוד הבנייה הלאומי או תקנות הבנייה כך שתחול חובה לבצע הערכת מחזור חיים למבנים. בחלק מהמדינות נקבעו דרישות המגבילות את היקף פליטות גזי החממה המקסימלי בכל פרויקט בנייה, ובחלק אחר קיימת כוונה לקבוע דרישות כאלו בעתיד. מדינות אחרות מחייבות ביצוע השוואה של המבנה המתוכנן למבנה ייחוס או לנתוני ייחוס גנריים והוכחת הפחתה. אמצעי מדיניות בולט נוסף הוא גיבוש של מתודולוגיה לאומית מקומית לביצוע הערכת מחזור חיים של מבנים. המתודולוגיה מבוססת בדרך כלל על התקינה הבינלאומית ומסייעת לפרש אותה ולהתאים אותה למאפיינים המקומיים ולמטרות פרטניות. מסמכי הנחיות מסייעים להסביר לבעלי העניין את המתודולוגיה ואת אופן יישומה. אמצעי מדיניות נוסף הוא בניית מאגרי מידע ברמה הלאומית הכוללים מידע אודות ההשפעות הסביבתיות של חומרים, מוצרים ותהליכי בנייה. אלו מתבססים על ניתוחי LCA או EPD שבוצעו עבור החומרים והמוצרים הנפוצים בתעשיית הבנייה. ככל שלא בוצעו ניתוחים כאלה, מגובשים ערכים גנריים עבור החומרים הבולטים המשמשים את התעשייה המקומית. כלל צעדי המדיניות נגזרים לרוב מתוכניות אסטרטגיות ולעיתים מהווים גם רכיב פרטני במדיניות סביבתית שמטרתה לעמוד ביעדי הפחתת פליטות לאומיים. להלן טבלה המסכמת את עיקרי האמצעים הרגולטיביים שנסקרו בפרק.

סיכום האמצעים הרגולטיביים בעולם	
מקום	אמצעים רגולטיביים
קנדה	<ul style="list-style-type: none"> <li>• עדכון קוד הבנייה הלאומי כך שבעתיד יאפשר רגולציה יעילה יותר של פליטות פחמן גלומות כולל הטמעה של דרישות לביצועים סביבתיים על בסיס הערכת מחזור חיים</li> <li>• עדכון אוגדן המפרט הלאומי לבנייה. האוגדן כולל מפרטי תכנון ומשמש את הממשלה, גורמים ציבוריים וחברות פרטיות לאפיון דרישות בחוזי התקשרות עם יזמים, קבלנים וספקים. עדכון המסמך נועד להטמיע יעדי ביצועים ניתנים למדידה ונהלים מחייבים</li> <li>• מסמך הנחיות לביצוע הערכת מחזור חיים במבנים. נועד להסדיר את הפרקטיקה של הערכת מחזור חיים של מבנים בקנדה, לסייע בהבנת הדרישות של התקינה הרלוונטית ולעמוד בהן הלכה למעשה</li> <li>• תקן להפחתת אנרגיה גלומה בבטון המחייב חשיפה והפחתה של 10% בטביעת הרגל הפחמנית עבור כל חומרי הבטון בשימוש בפרויקט</li> </ul>
הולנד	<ul style="list-style-type: none"> <li>• פיתוח מתודולוגיה מקומית ייחודית להערכת השפעות סביבתיות של מבנים לאורך מחזור חייהם</li> <li>• בניית מאגר מידע לאומי אודות ההשפעה הסביבתית של חומרים ומוצרים</li> <li>• עדכון קוד הבנייה הלאומי כך שהוא מחייב ביצוע הערכת מחזור חיים וקובע דרישות סף שהינן חובה בכל פרויקט בנייה</li> </ul>
דנמרק	<ul style="list-style-type: none"> <li>• בניית מאגר מידע לאומי אודות ההשפעה הסביבתית של חומרים ומוצרים</li> <li>• עדכון קוד הבנייה הלאומי כך שהוא מחייב ביצוע הערכת מחזור חיים וקובע דרישות סף שהינן חובה בכל פרויקט בנייה</li> </ul>
נורבגיה	<ul style="list-style-type: none"> <li>• עדכון תקנות הבנייה ברמה הלאומית במטרה לחייב ביצוע הערכת מחזור חיים אך ללא קביעת ערכי סף</li> <li>• גיבוש מדיניות דומה בערים הגדולות במדינה כדוגמת אוסלו וברגן</li> </ul>
צרפת	<ul style="list-style-type: none"> <li>• החל מ-2021 על כל פרויקט בנייה לבצע חישוב של פליטות החממה האופרטיביות והגלומות באמצעות ניתוח מחזור חיים ולהוכיח עמידה ביעדים שהוגדרו</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• בניית מאגר מידע לאומי אודות ההשפעה הסביבתית של חומרים ומוצרים</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• פיתוח מתודולוגיה מקומית להערכת השפעות סביבתיות של מבנים לאורך מחזור חייהם</li> <li>• בניית מאגר מידע לאומי עם ערכים גנריים אודות ההשפעה הסביבתית של חומרים ומוצרים</li> <li>• חקיקה המחייבת ביצוע הערכת מחזור חיים ודיווח פליטות אך אינה קובעת עדיין ערכי סף</li> </ul>	שוודיה
<ul style="list-style-type: none"> <li>• הצעה (שעד כה לא אושרה) להחיל דרישה גורפת לביצוע הערכת מחזור חיים לכלל המבנים החדשים כתנאי לאישור הפרויקט. על פי ההצעה, בעתיד יגובשו דרישות מחייבות להפחתת פליטות כתנאי לקבלת היתר בנייה</li> <li>• פרסום מתודולוגיה לביצוע ניתוח הערכת מחזור חיים למבנים</li> </ul>	ניו זילנד
<ul style="list-style-type: none"> <li>• דרישות לחישוב ולדיווח של פליטות גזי חממה במבנים באמצעות הערכת מחזור החיים בפרויקטי בנייה הכוללים למעלה מ-150 יח"ד או שגובהם למעלה מ-30 מטר</li> <li>• פרסום מסמך הנחיות לביצוע הערכת מחזור חיים למבנים ולדיווח התוצאות</li> </ul>	לונדון
<ul style="list-style-type: none"> <li>• עדכון תקנות הבנייה העירוניות כך שהן מחייבות לחשב את האנרגיה הגלומה במבנים ויאפשרו בעתיד להגביל אותה</li> <li>• פרסום מסמך הנחיות להערכת מחזור החיים של מבנים</li> <li>• גיבוש תמריצים כדוגמת הגדלת זכויות הבנייה בעד 5% מכלל שטחי הבנייה המאושרים עבור מבנים אשר יזכו להסמכה כמאופסי אנרגיה</li> </ul>	ונקובר

כלי מדידה לבנייה ירוקה פותחו בעולם במטרה להעריך ביצועים סביבתיים של מבנים ולעודד צמצום של השפעותיהם הסביבתיות. הם כוללים קטגוריות לבחינה ומדדים להגדרת מבנה ירוק. הקטגוריות מתייחסות לנושאים כגון: אנרגיה, מים, חומרים, פסולת, בריאות, תחבורה ועוד. עבור כל קטגוריה מוגדרות דרישות הכוללות קריטריונים למדידה ולהערכה ועמידה בדרישות מעניקה ניקוד. עמידה במינימום הניקוד הנדרש מזכה בהגדרת 'מבנה ירוק' כאשר הדירוג של המבנה (אשר משתנה בין כלי המדידה השונים) נקבע בהתאם לניקוד שנצבר. קיים חופש בחירה בביצוע רוב הדרישות מלבד אלו שעמידה בהן היא תנאי סף.

בשנים האחרונות מוטמעים בכלים אלו דרישות הנוגעות להערכת מחזור חיים של מבנים וזאת מתוך הכרה כי מתודולוגיה זו מאפשרת להרחיב את בחינת ההשפעה הסביבתית שלהם. לכלי מדידה לבנייה ירוקה השפעה משמעותית על ההטמעה של המתודולוגיה בעולם. מחקר שבוצע בשנת 2018 ושהתבסס על ראיונות וסקר עם אנשי מקצוע, גילה כי שילוב של דרישות לביצוע הערכת מחזור חיים בכלי המדידה מהווה התמריץ העיקרי לשימוש במתודולוגיה זו. 84% מהמשיבים בסקר טענו כי האפשרות לזכות בניקוד היא הסיבה העיקרית לשימוש במתודולוגיה.<sup>42</sup> פרק זה סוקר את האופן בו מוטמעת המתודולוגיה בארבעה כלי מדידה בינלאומיים מובילים בעולם: ה-LEED האמריקאי, ה-BREEAM הבריטי, ה-DGNB הגרמני וה-Green Star האוסטרלי. כמו כן נבחנת גם המתודולוגיה ומסגרת הפעולה החדשה של האיחוד האירופי Level(s).

### 6.1 LEED

ה-LEED הוא כלי המדידה האמריקאי לבנייה ירוקה. הכלי פותח על ידי המועצה האמריקאית לבנייה ירוקה והוא נמצא בשימוש במקומות רבים בעולם. דרישות הנוגעות להערכת מחזור חיים של מבנים נכללות בגרסאות של ה-LEED החל משנת 2009 ועוברות עדכון מעת לעת. הדרישה העדכנית נכללת בגרסת כלי המדידה עבור בנייה חדשה ופרויקטי שיפוץ משמעותיים כחלק מפרק החומרים והמשאבים. דרישה זו רלוונטית עבור סוגים שונים של פרויקטים ושימושים: פרויקטי גרעין ומעטפת, מבני מגורים ומשרדים, מוסדות חינוך והשכלה, מבני פנאי ותיירות, מבני תעשייה, מבני בריאות, מבני מסחר ועוד.<sup>43</sup> מטרת הדרישה היא לעודד שימוש חוזר אדפטיבי באלמנטים מבניים ולייעל את הביצועים הסביבתיים של מוצרים וחומרי בנייה. עמידה בדרישות אינה תנאי סף והיא יכולה להעניק עד 5 נקודות.

ישנם שני מסלולים לקבלת ניקוד:

1. הוכחת שימוש חוזר אדפטיבי באלמנטים של מבנה קיים: קירות מעטפת, רצפות ושטחי גג. ככל ששיעור השימוש החוזר גבוה יותר כך היקף הניקוד המתקבל עולה. החל מנקודה אחת עבור 15% מהאלמנטים (מכלל שטח הפרויקט) ועד 5 נקודות עבור שימוש חוזר ב-75% מהאלמנטים. ניתן להשיג

<sup>42</sup> Tytti Bruce-Hyrkäs et al, Overview of Whole Building Life-Cycle Assessment for Green Building Certification and Ecodesign through Industry Surveys and Interviews, 25th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference, April 2018, Copenhagen, Denmark.

<sup>43</sup> LEED BD+C: New Construction v4.1. ([Link](#))

נקודה אחת באמצעות הוכחת שימוש חוזר אדפטיבי באלמנטים שאינם שלדיים כגון קירות פנימיים, דלתות, ריצוף וכיו"ב בהיקף של 30% לכל הפחות משטח הפרויקט הסופי.

2. ביצוע הערכת מחזור חיים לפרויקט והוכחת הפחתה של ההשפעה הסביבתית ביחס למבנה ייחוס. עמידה בדרישה זו יכולה לזכות בניקוד שנע בין 1-4 נקודות. נקודה אחת ניתנת עבור עצם ביצוע הערכת מחזור החיים לפרויקט. הוכחת הפחתה של לפחות 5% מעניקה נקודה אחת נוספת, הוכחת הפחתה של לפחות 10% מעניקה 2 נקודות נוספות והוכחת הפחתה של למעלה מ-20% מעניקה עוד 3 נקודות ובסה"כ 4 נקודות. את הניתוח יש לבצע עבור כל מרכיבי השלד והמעטפת: מעטפת הבניין המלאה מהחיפוי ועד הגימור הפנימי, קונסטרוקציית הבסיס, היסודות וחומרי גמר. על הניתוח להתייחס לכל הפחות לשלבי מחזור החיים הבאים: שלבי הייצור (A1-A3), שינוע לאתר הבנייה (A4), שלב אחד לכל הפחות משלבי התפעול (B1-B5) ושלב אחד לכל הפחות משלבי סוף החיים (C1-C4).<sup>44</sup> על הניתוח להתייחס לפרמטר של פוטנציאל התחממות גלובלית (GWP) ולשני פרמטרים נוספים מביין אלא הכלולים בתקן ISO 14040 ל-LCA: דלדול שכבת האוזון, חמצון משאבי קרקע ומים, אֶטְרוֹפִיקָצְיָה (הצטברות של חומר אורגני במקווה מים), היווצרות אוזון טרופוספרי (היווצרות של גז אוזון בשכבה הנמוכה ביותר של האטמוספירה בעקבות פליטות מעשה ידי אדם), או דלדול משאבי אנרגיה לא מתחדשים. על מבנה הייחוס להיות זהה למבנה מושא ההערכה בפרמטרים של שטח, סוג שימוש, הפניות וכיו"ב. הניתוח עבור שני המבנים חייב להתבצע בתוכנה זהה ובאמצעות אותם בסיסי נתונים. משך תקופת חיי השירות של המבנה לצורך הניתוח חייב לעמוד לכל הפחות על 60 שנה. ככל שנעשה שימוש בתוכנת עזר לביצוע הניתוח יש להשתמש בתוכנה זהה ובאותם בסיסי נתונים עבור שני המבנים. על נתוני הייחוס לעמוד בדרישות המפורטות בתקן ISO 14044. עבור פרויקטים באירופה ניתן לבצע את הערכת מחזור החיים בהתאם לדרישות תקן EN 15978 אך בכל מקרה בו קיימת סתירה בין דרישות התקן לדרישות ה-LEED יש לעמוד בדרישות ה-LEED. כמו כן פרויקטים אירופאיים יכולים לזכות בניקוד על ידי עמידה בדרישות של מסגרת הפעולה של Level(s) של האיחוד האירופי. הניקוד ניתן בהתאם לשלבי ההתייחסות של מסגרת הפעולה – בשלבי התכנון, הבנייה ולאחר תום הבנייה. עבור עמידה ברמה הראשונה (ניתוח העיצוב הרעיוני של המבנה) מוענקת נקודה אחת, עבור עמידה ברמה השנייה (בחינת הביצועים הסביבתיים המפורטים של שלבי התכנון והבנייה) ניתן להשיג 3 נקודות, ועבור עמידה ברמה השלישית (התייחסות לשלבי התכנון והבנייה וגם לשלב התפעול) 4 נקודות.<sup>45</sup>

## 6.2 BREEM

BREEAM הוא כלי מדידה בינלאומי לבנייה ירוקה אשר פותח על ידי ארגון ה-Building Research Establishment (BRE) הבריטי ופועל ללא מטרת רווח. כלי המדידה נמצא בשימוש נרחב בעולם והוסמכו במסגרתו למעלה מחצי מיליון מבנים. ההתייחסות להערכת מחזור חיים של מבנה נכללת במסגרת הדרישה הראשונה בפרק החומרים שמטרתה לעודד הבנה לגבי ההשפעות הסביבתיות מחומרי הבנייה של הפרויקט במהלך מחזור החיים שלו ונקיטת פעולות לצמצומן.<sup>46</sup> שלבי מחזור החיים אליהם נדרש

<sup>44</sup> LEED v4.1 Building Design and Construction, Getting started guide for beta participants, November 2020.

<sup>45</sup> LEED BD+C: New Construction v4.1. ([Link](#))

<sup>46</sup> BREEAM New Construction 2018 (UK) Technical Manual, Mat 01: Environmental impacts from construction products - Building life cycle assessment (LCA). ([Link](#))

להתייחס הם: שלבי הייצור והבנייה (A1-A5), שלבי השימוש והתחזוקה (B1-B2), שלב השיפוץ/חידוש (B5), ושלבי סוף החיים (C1-C4). הדרישה אינה מחייבת להתייחס לאנרגיה האופרטיבית או לשימוש במים. משך תקופת חיי השירות של המבנה לצורך הניתוח חייב לעמוד לכל הפחות על 60 שנה.<sup>47</sup>

ל-BREEAM תכניות הסמכה פרטניות עבור סוגים שונים של מבנים ועבור היקפים שונים של בנייה. ברוב התכניות קיימת דרישה להתייחס לנושא זה כבר בשלב התכנון המוקדם ולהשלים את התהליך לפני קבלת היתר בנייה. דרישה זו אינה מחייבת אך היא מעניקה ניקוד. הדרישה כוללת שני שלבים. בשלב הראשון יש לערוך ניתוח הערכת מחזור חיים של המבנה על פי המתודולוגיה המקובלת על ידי BREEAM כפי שהיא מפורסמת גם במדריך הטכני וגם באתר האינטרנט של הארגון. הניתוח נעשה עבור האלמנטים המבניים הבאים: קירות חיצוניים, קירות פנימיים, גגות, רצפות, רמפות, מדרגות, מסגרות, חלונות ודלתות חיצוניות.<sup>48</sup> לטובת הניתוח ניתן לעשות שימוש במגוון כלי עזר חיצוניים שאושרו על ידי הגוף הניהולי של BREEAM ובמחשבון ייעודי שפותח על ידי מנגנון ההסמכה. בשלב השני, יש להגיש את תוצאות הניתוח למנגנון ההסמכה על פי פורמט ותנאים שהוגדרו מראש. במסגרת הדרישה ובהתאם לתוצאות הניתוח ניתן להשיג עד 6 נקודות. על מנת לזכות בניקוד מתבצעת השוואה בין תוצאות הניתוח לבין נתוני ייחוס כפי שהוגדרו על ידי BREEAM. ניתן להשיג נקודה גם עבור ביצוע הערכת מחזור חיים לאלמנטים נוספים שלא נכללו בדרישה הראשונה והוכחת הפחתה של ההשפעות הסביבתיות (אך לא ניתן להשיג למעלה מ-6 נקודות בסך הכל). את הניתוח יש לבצע לכל הפחות עבור 6 מדדי השפעה סביבתית.<sup>49</sup>

מידע אודות ההשפעה הסביבתית של מוצרים וחומרים מונגש באמצעות מאגר מידע ייעודי שהוקם על ידי ארגון BRE ונמצא בניהולו. המאגר מספק נתוני LCA עבור כל מוצר ביחס למודולים השונים בתהליך הניתוח (ייצור, שינוע, בנייה וכיו"ב) והוא תואם תקינה אירופית ובינלאומית בנושא. המאגר מספק מידע אודות ההשפעה הסביבתית של המוצרים בכלל הפרמטרים המקובלים. הוא כולל גם שיטת ניקוד המעניקה ציון משוקלל אחד לכל מוצר בהתייחס לכלל הפרמטרים שצוינו ועל פי משקלות המייצגים את היקף ההשפעה הסביבתית. ציון משוקלל זה מסייע בתהליכי קבלת ההחלטות של מובילי הפרויקט וכן מקל על בדיקת תוצאות הניתוח ומתן ניקוד עבור ההישגים הסביבתיים.<sup>50</sup>

### 6.3 DGNB

כלי המדידה הגרמני והבינלאומי של המועצה הגרמנית לבנייה ירוקה כולל גם הוא דרישה המתייחסת להערכת מחזור חיים של מבנים. זוהי הדרישה הראשונה בכלי המדידה. היא אינה מחייבת אך ניתן להשיג באמצעותה עד 8 נקודות והיא הדרישה בעלת המשקל הגבוה ביותר בכלי המדידה.

הדרישה מחולקת לשלושה שלבים. בשלב ראשון ניתן ניקוד עבור ביצוע הערכת מחזור חיים בשלב מוקדם של תהליך התכנון ושימוש במתודולוגיה לטובת גיבוש ובחינת החלופות התכנוניות באופן שוטף על ידי צוות התכנון. קבלת הניקוד מותנית בבניית מודל הערכת מחזור חיים פרטני עבור הפרויקט כבר משלבי התכנון המוקדם ושימוש במודל זה לאורך תהליך התכנון, כך שניתן יהיה לשקף בקלות את ההשפעות

<sup>47</sup> ETool Knowledge Base, Choosing Your System Boundary and Scope. ([Link](#))

<sup>48</sup> BREEAM New Construction 2018 (UK) Technical Manual, Mat 01: Environmental impacts from construction products - Building life cycle assessment (LCA). ([Link](#))

<sup>49</sup> BREEAM New Construction 2018 (UK) Technical Manual, Mat 01: Environmental impacts from construction products - Building life cycle assessment (LCA). ([Link](#))

<sup>50</sup> BRE Centre for Sustainable Products, The IMPACT database. ([Link](#))

הסביבתיות של שינויים תכנוניים לכל צוות התכנון. נתונים אודות תוצאות הניתוחים יש להציג לצוות התכנון מעת לעת בהתאם להתקדמות תהליך התכנון. בשלב שני יש לבצע אופטימיזציה של ההשפעות הסביבתיות הצפויות במהלך מחזור החיים של הבניין. זאת יש לבצע קודם כל על ידי הגדרת חלופות תכנון מתקדמות, קביעת ההשפעות הסביבתיות של כל חלופה ובחינת היכולת לבצע בהן שיפורים. קבלת הניקוד מותנית בהוכחת בחירה של פתרונות מתאימים על ידי צוות התכנון והסבר של הבחירות שבוצעו. בשלב שלישי מוענק ניקוד בהתאם למידת הצמצום של ההשפעות הסביבתיות של חלופת התכנון הנבחרת. ניקוד נוסף מוענק ככל שניתן להוכיח כי הפרויקט מאופס אנרגיה או כמעט מאופס אנרגיה או אם פוטנציאל ההתחממות הגלובלית של הפרויקט (בערכי GWP) הוא פחות ממחצית מהפוטנציאל של מבנה ייחוס זהה.<sup>51</sup>

בהיבט המתודולוגי, אופן חישוב הפליטות של המבנה המתוכנן ושל מבנה הייחוס חייב להתבצע באמצעות אותה תוכנה ובהתבסס על אותו סוג שימוש, שטח ומבנה גאומטרי של המבנה, ועל בסיס אותן הנחות ביחס למזג אוויר והיקפי תפוסה צפויים. גיבוש מבנה הייחוס יעמוד בנוסף ברגולציה לאומית ככל שקיימת או יתבצע בהלימה עם הדרישות המופיעות בנספח 5 או עם המאפיינים המפורטים בחלק G3 בתקן ASHRAE 90.1 – 2013.

האלמנטים אותם יש לבחון בבניין הם האלמנטים המבניים: קירות חיצוניים וקירות מרתף, גגות, רצפת קומת קרקע, יסודות, קירות פנימיים ומסגרת קונסטרוקטיבית. משך תקופת השירות של הבניין משתנה בין שימושים שונים אך עומדת על 50-60 שנה. השלבים אותם יש חובה לכלול בניתוח הם שלבי הייצור (A1-A3) תחלופת חומרים ומוצרים (B4-Replacement) צריכת האנרגיה בזמן התפעול (B6-Energy consumption during operation) מחזור פסולת וסילוק פסולת (C3-C4). בחינת שלבי הייצור נעשית באמצעות עיבוד מידע ונתוני LCA ו-EPD. הניתוח של יתר השלבים מבוסס על תרחישים. התנאים והדרישות לגיבוש התרחישים מפורטים במדריך טכני ייעודי.<sup>52</sup>

#### 6.4 Green Star

ה-Green Star הוא כלי מדידה ומנגנון הערכה אוסטרלי ובינלאומי מייסודה של המועצה האוסטרלית לבנייה ירוקה. הגרסה העדכנית של כלי המדידה למבנים שהושקה בשנת 2020 כוללת שתי דרישות עיקריות המתייחסות להערכת מחזור החיים של מבנים ובאמצעותן ניתן להשיג עד 8 נקודות.

הדרישה הראשונה (The upfront carbon emissions credit) נוגעת לפליטות הנגרמות מתהליך הכרייה, השינוע, הייצור וההשמה של חומרים ומוצרים (שלבים A1-A5) וניתן להשיג במסגרתה עד 6 נקודות. שלוש נקודות ניתן להשיג על ידי הפחתה של 20% לכל הפחות בפליטות גזי החממה של המבנה המתוכנן בהשוואה למבנה ייחוס. שלוש נקודות נוספות ניתן להשיג באמצעות הוכחת הפחתה של 40% מהפליטות לכל הפחות בהשוואה למבנה ייחוס. מבנה הייחוס מגובש על ידי צוות התכנון ועליו לכלול מאפיינים זהים למבנה המתוכנן בכל הנוגע להיבטים הבאים: גודל, צורה, מיקום, שטחי בנייה והיקף זיגוג.<sup>53</sup>

<sup>51</sup> DGNB System – New buildings criteria set version 2020 international, ENV1.1 Building life cycle assessment. ([Link](#))

<sup>52</sup> DGNB System – New buildings criteria set version 2020 international, ENV1.1 Building life cycle assessment. ([Link](#))

<sup>53</sup> Green Star, Upfront Carbon Emissions calculation guide – interim, Green Building Council of Australia, 2022. ([Link](#))

אם בפרויקט הבניה משולב הרס מלא או חלקי של מבנה קיים בן פחות מ-30 שנה, יש לכלול בתחשיב את הפליטות הנובעות מההרס (שלב C). אם המבנה הנהרס בן 30-50 שנה יש לבצע את אותו תחשיב של פליטות תוך הפחתה של 10% מהפליטות לכל שנתיים החל מהשנה ה-30 של המבנה.

הדרישה השנייה (the life cycle impacts credit) מתייחסת לכלל מחזור החיים של המבנה (שלבים A-D) ובמסגרתה יש להוכיח הפחתה של 30% לכל הפחות בפליטות ביחס למבנה ייחוס. עמידה בדרישה זו יכולה לזכות ב-2 נקודות. על ההפחתה להתבצע באמצעות גיבוש תרחישים ועל פי המתודולוגיה המעוגנת בתקן האירופי EN15978.

יש לציין כי ניתן לעמוד בשתי הדרישות באמצעות ניתוח הערכת מחזור חיים אחד כאשר תשומת הלב בכל דרישה ניתנת לשלבים שונים במחזור החיים. הדרישה הראשונה עוסקת במוצרים ובחומרים והדרישה השנייה, המתקדמת יותר, עוסקת במבנה כולו. את התחשיב יש לבצע עבור משך חיי שירות של 60 שנה.

האלמנטים שיש לקחת בחשבון בביצוע הניתוח מפורטים בכלי המדידה וכוללים טווח רחב מאוד ביחס לכלי מדידה אחרים. הרשימה כוללת את כל הבאים: כל חומרי ומוצרי הבטון; בלוקים, אבן, טיח וכד'; כל חומרי ומוצרי המתכת; תעלות וצנרת מתכת ופלסטיק; אלמנטים קונסטרוקטיביים ומסגרות מעץ; קירות וגגות פנימיים; זיגוג פנימי וחיצוני; חומרי מעטפת ומוצרי חיפוי; חומרי גג כגון רעפים וגגות מתכת; וחיפויי רצפות כגון אריחים, פאנלים ושטיחים. אם ישנם חומרים נוספים בהם נעשה שימוש משמעותי יש לכלול גם אותם. על הניתוח לכלול לכל הפחות 90% מכמות החומרים בהם נעשה שימוש ולכל הפחות 90% מעלות החומרים בהם נעשה שימוש.<sup>54</sup>

## 6.5 מתודולוגיית הערכה ומסגרת הפעולה Level(s) של האיחוד האירופאי

Level(s) היא מתודולוגיית הערכה ומסגרת פעולה שגובשה על ידי האיחוד האירופי לצמצום ההשפעה הסביבתית של מבנים. היא מהווה רכיב מרכזי ביוזמה של האיחוד לפתח כלכלה מעגלית תוך התייחסות להפחתת פליטות גזי חממה בכל מחזור החיים, והיא מציעה שפה משותפת להערכה ולדיווח של ביצועי הקיימות של מבנים משלב התכנון ועד סוף החיים. היא נועדה לסייע ביצירת סטנדרטיזציה של אופן הערכת ההשפעה הסביבתית של מבנים בכלל היבשת באמצעות כלי ציבורי שאינו מסחרי (בניגוד לכלי מדידה לבנייה ירוקה כגון LEED ו-BREEAM למשל). זוהי מסגרת וולונטארית המאפשרת מדידה, הערכה, דיווח ושיתוף הביצועים הסביבתיים של המבנה ומטרתה להיות פשוטה ונגישה ובכך לעודד את השימוש בה.<sup>55</sup>

מסגרת הפעולה מיועדת להעריך מבני מגורים ומבני משרדים. ניתן לעשות בה שימוש בפרויקטי בניה חדשים או בפרויקטי שיפוץ גדולים. לטובת ביצוע הניתוח ניתן לעשות שימוש במגוון כלי תוכנה ומאגרי מידע חיצוניים אשר הוכרו על ידי מסגרת הפעולה. הרשימה מתעדכנת מעת לעת.<sup>56</sup> את ההערכה ניתן לבצע בשלוש נקודות זמן: תכנון רעיוני, שלב הבנייה ושלב התפעול. מומלץ כי ההערכה תתבצע מעת לעת לאורך כל תקופת התכנון, הבנייה ועד התפעול. ככל שהניתוח מבוצע בשלב מוקדם יותר כך היכולת

<sup>54</sup> OneClick LCA, Green Star Buildings Australia. ([Link](#))

<sup>55</sup> Level(s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings, User Manual 1: Introduction to the Level(s) common framework, European Commission, 2021. ([Link](#))

<sup>56</sup> European Commission, Joint Research Center, list of LCA tools and databases, V.4.1. ([Link](#))

להטמיע שינויים בתכנון גדולה יותר אך מאידך, ניתוח שיבוצע לאחר המסירה יוכל להעיד באופן מהימן יותר על הביצועים הסביבתיים של המבנה בפועל.<sup>57</sup>

המתודולוגיה מגדירה אינדיקטורים בהתייחס לכלל שלבי מחזור החיים של מבנים. בניגוד לכלי הערכה נפוצים בשוק היא לא מגדירה אמות מידה ואינה מעניקה ניקוד. מכיוון שתנאי האקלים ומלאי הבניינים של אירופה אינם הומוגניים, הוחלט כי אמות מידה לא ייקבעו ברמה האירופית, ובמקום זאת, מדינות החברות באיחוד מתבקשות לפתח אמות מידה משלהן.

שיטת ההערכה מבוססת על 6 נושאים אסטרטגיים ועל 16 אינדיקטורים בששת הנושאים הנ"ל. לכל נושא 2-4 אינדיקטורים. היות וההערכה היא וולונטארית, ניתן לעשות שימוש באינדיקטור אחד, במספר אינדיקטורים או בכלם. המיחד את מתודולוגיית ההערכה הזו הוא שגישת מחזור החיים אינה מופיעה כדרישה בודדת אלא מוטמעת בגישה הבסיסית שלה. זאת על אף שההתייחסות לפליטות הפחמן בולטת במיוחד בנושא האסטרטגי הראשון. להלן פירוט תמציתי של 6 הנושאים האסטרטגיים והאינדיקטורים הבולטים בכל נושא:<sup>58</sup>

1) פליטות חממה לאורך חיי השירות של המבנה: המטרה המרכזית היא הפחתת פליטות גזי החממה בכל שלבי מחזור החיים של המבנה תוך התמקדות בשלב התפעול של הבניין ובאנרגיה הגלומה במבנה. נושא זה כולל שני אינדיקטורים. הראשון מתייחס לאנרגיה האופרטיבית של המבנה ונמדד בקילוואט שעות למ"ר בשנה ( $kWh/m^2/yr$ ). האינדיקטור השני בוחן, באמצעות ניתוח מחזור חיים, את פוטנציאל ההתחממות של כדור הארץ בק"ג פחמן דו חמצני (ופליטות אקוויוולנטיות) למ"ר לשנה ( $kg CO_2 eq./m^2/yr$ ). ניתוח מחזור החיים מתבצע עבור כל שלבי מחזור החיים A-D ומשך תקופת החיים המוגדרת למבנה היא 50 שנה.<sup>59</sup> האלמנטים המבניים אשר יש לכלול בניתוח כוללים אלמנטים רבים בגרעין ובמעטפת של הבניין, בכלל זה אלמנטים קונסטרוקטיביים, חזיתות, רצפות, גגות, רצפות, קירות, פתחים, מדרגות, רמפות, צבע וחיפוי חיצוני. כמו כן נכללים אלמנטים בגרעין המבנה הקשורים למערכות האנרגיה, הסניטציה, מים, ביוב, אורור ותאורה וכיו"ב וכן אלמנטים של פיתוח נופי כגון ריצוף קשיח, גדרות, תעלות השקיה וכיו"ב.<sup>60</sup>

2) שימוש יעיל במשאבים ומחזור חיים מעגלי של חומרים: נועד למקסם את תכנון ועיצוב המבנה כך שיתמוך בזרימות רזות ומעגליות, יאריך את השימושיות והתועלת של החומרים ויפחית את ההשפעות הסביבתיות. כולל דיווח של כתב החומרים עבור הבניין, וכן פירוט ארבעת סוגי החומרים העיקריים בהם נעשה שימוש. בהתאם לשלב בו מבוצע הניתוח (תכנון, בנייה, לאחר מסירה), מפורטים כללים לביצוע ניתוח ה-LCA לבניין. לאחר מכן נבחנת כמות פסולת הבנייה הנגרמת מהתהליך הבנייה ומשלב ההריסה של הבניין בפרמטר של ק"ג פסולת ושל היקף החומרים למ"ר משטח הרצפה הכולל.

3) שימוש יעיל במשאבי מים: נועד לעודד שימוש יעיל במים. בנושא זה נבחנת צריכת המים הכוללת במ"ק מים לכל דייר בשנה.

<sup>57</sup> European Commission, Level(s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings. ([Link](#))

<sup>58</sup> Level(s) Website - How Does Level(s) Work ([Link](#))

<sup>59</sup> European Commission, Level(s) indicator 1.2: Life cycle Global Warming Potential (GWP) User manual. ([Link](#))

<sup>60</sup> European Commission, Level(s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings, User manual 2: Setting up a project to use the Level(s) common framework, 2021. ([Link](#))

4) חללים בריאים ונוחים : נועד ליצור מבנים בריאים ונוחים לשהייה עבור המשתמשים בהם. נבחנים כאן ארבעה נושאים שמחוץ לניתוח הערכת מחזור חיים : איכות אוויר פנימית, זמן מחוץ לטווח הנוחות התרמית, נוחות ויזואלית ונוחות אקוסטית.

5) הסתגלות ועמידות לשינויי אקלים : נועד לעודד תכנון ועיצוב מבנים אשר ישמרו על הבריאות והנוחות של המשתמשים לאור שינויי האקלים הצפויים בעתיד. נמדד בהתייחס לתרחישים של תנאי האקלים הצפויים בשנים 2030 ו-2050. המטרה היא לשמור על בריאות הדיירים והנוחות התרמית של הבניין בתנאים העתידיים.

6) אופטימיזציה של עלויות ותועלות במחזור החיים : נועד למקסם את הערך הכלכלי של המבנים תוך צמצום העלויות בהסתכלות על מחזור החיים והתחשבות בהיבטים של תפעול, תחזוקה וצמצום הצורך בשיפוצים. עלויות מחזור חיים נמדדות ביורו למ"ר שטח רצפה לשנה ( $m^2/yr/€$ ).

כדי לתמוך במשתמשים, פותחו מגוון חומרי הסברה, מדריכים והכשרות הזמינים ללא עלות ברשת. בין השאר פותח קורס אינטרנטי המסייע להכיר את המתודולוגיה ולעשות בה שימוש. בנוסף מפותחים כלי עזר לביצוע התהליך כגון מחשבון המסייע בביצוע תהליך ההערכה.<sup>61</sup>

## 6.6 סיכום

פרק זה סקר את האופן בו מוטמעת המתודולוגיה בארבעה כלי מדידה בינלאומיים מובילים בעולם : ה-LEED האמריקאי, ה-BREEAM הבריטי, ה-DGNB הגרמני וה-Geen Star האוסטרלי. כמו כן נבחנו גם המתודולוגיה ומסגרת הפעולה החדשה של האיחוד האירופי Level(s). ההתייחסות לנושא נכללת לרוב בפרקים שעוסקים בחומרים והיא רלוונטית עבור סוגים שונים של פרויקטים ושימושים. זאת מלבד ב-Level(s) בה ההתייחסות לנושא מוטמעת בבסיס מתודולוגיית ההערכה בראייה רוחבית. ככלל, ההתייחסות לנושא נדרשת לרוב כבר בשלב התכנון המוקדם ואת הניתוח יש להשלים לפני קבלת היתר הבנייה. חלק מכלי המדידה מבקשים לבצע הערכה שוטפת לאורך תהליך התכנון כך שניתן יהיה לשקף בקלות את ההשפעות הסביבתיות של שינויים תכנוניים לכל צוות התכנון.

הדרישות בכלי המדידה אינן מהוות תנאי סף אך הן מעניקות ניקוד (מלבד ב-Level(s)). הניקוד ניתן לרוב הן עבור ביצוע הערכת מחזור חיים למבנה והן עבור הוכחת עמידה ביעדים. ברוב כלי המדידה (LEED, DGNB, Green Star), הניקוד מוענק על הוכחת הפחתה של ההשפעות הסביבתיות ביחס למבנה ייחוס. מבנה הייחוס מגובש על ידי צוות התכנון על בסיס כללים המפורטים בכלי מדידה. כל כלי המדידה כוללים דרישות ותנאים שנועדו להבטיח כי מבנה הייחוס יהיה בעל מאפיינים זהים למבנה מושא ההערכה. היקף ההפחתה הנדרש לקבלת ניקוד נע לרוב בין 10%-40%. ככל שהפחתה גבוהה יותר כך הניקוד גבוה יותר, כאשר הניקוד נע בין 4-8 נקודות בהתאם לכלי. בשונה, ה-BREEAM מעניק ניקוד עבור הפחתה ביחס לנתוני ייחוס גנריים אשר הוגדרו על ידי כלי המדידה.

תקופת מחזור חיים כפי שמוגדרת על ידי כלי המדידה היא לכל הפחות 50-60 שנה. שלבי מחזור החיים אליהם יש להתייחס בנייתם משתנים בין כלי המדידה השונים אך כולם מחייבים התייחסות לשלבי הייצור A1-A3. תוצאות הניתוח נמדדות לרוב בפרמטר של פוטנציאל התחממות גלובלית (GWP). ה-LEED

<sup>61</sup> Level(s) Website - eLearning and tools ([Link](#))

מבקש כי תוצאות הניתוח יתייחסו גם להשפעות הסביבתיות של הפרויקט בהתייחס לשני פרמטרים נוספים מבין הבאים: דלדול שכבת האוזון, חמצון משאבי קרקע ומים, אֶטְרוֹפִיקָצְיָה, היווצרות אוזון טרופוספרי, או דלדול משאבי אנרגיה לא מתחדשים. ה-BREEAM מבקש להתייחס ל-6 פרמטרים סביבתיים שונים. לטובת ביצוע הניתוח ניתן לעשות שימוש במגוון כלי עזר שפותחו על ידי גופי ההסמכה עצמם או על ידי גופים חיצוניים ובכלל זה כלי תוכנה, מחשבוניים, מדריכים טכניים ומאגרי מידע. האלמנטים המבניים אותם יש לכלול בניתוח משתנים בהתאם לכלי המדידה ובהתאם לדרישה.

סיכום ההתייחסות להערכת מחזור חיים בכלי מדידה					
כלי מדידה	פרק	שם הדרישה וניקוד מקסי'	משך חי השירות	מרכיבי הבניין	שלבי מחזור חיים
LEED BD+C	Materials and Resources	Building Life-Cycle Impact Reduction 4-5 נקודות	60 שנה	מעטפת הבניין המלאה מהחיפוי ועד הגימור הפנימי, קונסטרוקציית הבסיס והיסודות וחומרי גמר	לכל הפחות יש לכלול את הבאים: ייצור A1-A3 שינוע לאתר הבנייה A4 תפעול - שלב אחד לכל הפחות משלבי B1-B5 סוף החיים - שלב אחד לכל הפחות משלבי C1-C4
BREEAM UK	Materials	Environmental impacts from construction products - Building life cycle assessment 6 נקודות	60 שנה	קירות חיצוניים, קירות פנימיים, גגות, רצפות, רמפות, מדרגות, מסגרות, חלונות ודלתות חיצוניות	ייצור ובנייה A1-A5 שימוש ותחזוקה B1-B2 שיפוץ/חידוש B5 סוף החיים C1-C4
DGNB International	Env. Quality	Building life cycle assessment 8 נקודות	50-60 שנה בהתאם לסוג השימוש	קירות חיצוניים וקירות מרתף, גגות, רצפת קומת קרקע, יסודות, קירות פנימיים ומסגרת קונסטרוקטיבית	ייצור A1-A3 תחלופה B4 פחמן אופרטיבי B6 מחזור וסילוק פסולת C3-C4
Green Star Buildings	Positive	Upfront Carbon Emissions 6 נקודות Life Cycle Impacts 2 נקודות	60 שנה	כל חומרי ומוצרי הבטון; בלוקים, אבן, טיח וכד'; כל חומרי ומוצרי המתכת; תעלות וצנרת מתכת ופלסטיק; אלמנטים קונסטרוקטיביים ומסגרות מעץ; קירות וגגות פנימיים; זיגוג פנימי וחיצוני; חומרי מעטפת ומוצרי חיפוי, חומרי גג כגון רעפים וגגות מתכת; חיפויי רצפות כגון אריחים, פאנלים ושטיחים	Upfront Carbon Emissions – ייצור A1-A5 ובנייה Life Cycle Impacts A-D שלבים
Level(s)	Greenhouse gas and air pollutant emissions along a building's life cycle Resource efficient		50 שנה	אלמנטים קונסטרוקטיביים, חזיתות, רצפות, גגות, רצפות, קירות, פתחים, מדרגות, רמפות, צבע וחפוי חיצוני. כמו כן נכללים אלמנטים בגרעין המבנה הקשורים למערכות האנרגיה, הסניטציה, מים, ביוב,	שלבים A-D

	<p>אורור ותאורה וכי"ב  וכן אלמנטים של פיתוח  נופי כגון ריצוף קשיח,  גדרות, תעלות השקיה  וכי"ב</p>		<p>and circular  material life  cycles</p> <p>Efficient use  of water  resources</p>	
--	---	--	--	--

## 7. כלי תוכנה להערכת ההשפעות הסביבתיות במחזור חיים של מבנים

ישנם מספר כלי תוכנה בהם ניתן לעשות שימוש כדי לבצע הערכת מחזור חיים של מבנים. עיקרון הפעולה שלהם דומה ומתבסס על נתונים ומאפיינים של המבנה כדי להעריך את סך החומרים בהם יעשה שימוש ואת ההשפעה הסביבתית הכוללת מכל החומרים במהלך מחזור החיים. מידע אודות ההשפעות הסביבתיות של חומרים ומוצרים מבוסס על מאגרי מידע אליהם מקושרות התוכנות ועל הנחות שונות המוטמעות במודל החישובי של כל תוכנה.

ניתן להבדיל בין תוכנות בעזרתן ניתן לבצע הערכה מלאה של מחזור חיים לבין תוכנות שמסייעות בפרקטיקות מסוימות או שבוחנות רק חלק משלבי החיים. בין התוכנות הנפוצות יותר להערכה מלאה של מחזור חיים ניתן לציין את [One Click LCA](#), [Athena Impact Estimator](#) ו- [Tally](#) אך ישנן נוספות. אלו שלושת הכלים המרכזיים בהם נעשה שימוש כדי לעמוד בדרישות של כלי מדידה לבנייה ירוקה ופרק זה יתמקד בהם. תוכנות אחרות כדוגמת [Build Carbon Neutral](#), [EC3](#), [cove.tool](#), ואחרות, נועדו לסייע בהשוואה בין השפעות סביבתיות של חומרים, או לבחינה של השפעות סביבתיות של חלופות שונות בשלבי התכנון של הבניין. תוכנות אחרות עוסקות בנושאים פרטניים כדוגמת [CARE](#) המאפשרת להשוות את ההשפעות הסביבתיות של שיפוץ בניין קיים לעומת החלפתו בבניין חדש.

יש לציין כי על רקע ההתפתחות המואצת של הנושא בעולם, כלים חדשים יוצאים לשוק בתדירות גבוהה וכלים ישנים עוברים שיפור ושדרוג. ניכר כי ישנם כלים רבים יחסית עבור חישוב וניהול של פליטות גזי החממה בשלבים המוקדמים של הפרויקט, אך מעט תוכנות לביצוע הערכה מלאה של כל שלבי מחזור החיים. עוד חשוב לציין כי הכלים השונים עושים שימוש בטכניקות מידול שונות, בנתוני רקע שונים, ובהנחות בסיס שונות. לעיתים הכלים מותאמים לפרקטיקות או לחומרי הבנייה הנהוגים במדינות מסוימות ומידת התאמתם למדינות אחרות פחותה. כתוצאה מכל אלו, בחינת פרויקט זה בכלי עזר שונים תניב לרוב תוצאות שונות.<sup>62</sup>

כאמור, פרק זה יסקור את כלי התוכנה המרכזיים בהם נעשה שימוש כיום בעולם כדי לעמוד בדרישות כלי מדידה לבנייה ירוקה. כלי תוכנה אלו מהווים כלי עזר ואינם תחליף לתקינה או לרגולציה בתחום.

### 7.1 Athena Impact Estimator

חבילת תוכנה עצמאית בה ניתן לעשות שימוש להערכת ההשפעות הסביבתיות של פרויקט בנייתו מחזור חיים ולביצוע השוואה בין ההשפעה הסביבתית של חומרים שונים או של חלופות תכנון שונות. כלי זה מותאם באופן פרטני לפרקטיקה ולרגולציה בצפון אמריקה. הכלי זמין ללא עלות והוא פותח על ידי מכון אתנה לחומרים מקיימים (Athena Sustainable Materials Institute) שהוא מכון מחקר עצמאי הפועל ללא כוונות רווח ומתמחה בחקר תחום ה-LCA. הוא כולל מאגר מידע עצמאי עם מנעד רחב של חומרים בהם נעשה שימוש בארה"ב ובקנדה. הכלי הושק בשנת 2002 ועבר מאז עדכונים רבים. הוא ניתן לשימוש בפרויקטים של בנייה חדשה, שיפוץ ותוספות למבנה קיים בכל סוגי המבנים הנפוצים בצפון אמריקה. ניתן למדל באמצעותו כ-1,200 חלופות תכנוניות שונות והוא מאפשר השוואה מהירה ופשוטה בין חלופות

<sup>62</sup> Catherine De Wolf et al, Whole life cycle environmental impact assessment of buildings: Developing software tool and database support for the EU framework Level(s), Resources, Conservation and Recycling, Volume 188, January 2023.

מותאמות אישית. תוצרי המודל מאפשרים קבלת מידע אודות הפליטות הגלומות במבנה וכן ביצוע סימולציה של היקף הפליטות מהאנרגיה האופרטיבית של הפרויקט.

ממשק המשתמש של הכלי בנוי מתיבות דיאלוג באמצעותן המשתמשים מתארים את מכלולי הבניין על ידי מענה על שאלות מנחות. המידע אותו יש להזין מתייחס לאלמנטים קונסטרוקטיביים ולנתונים טכניים כגון שטח, מיקום, גובה, סוג המבנה וכד'. על בסיס הנתונים שהוזנו התוכנה מייצרת בעצמה כתב חומרים ומחשבת על בסיסו את ההשפעות הסביבתיות של המבנה. ניתן להזין חומרים נוספים וקיימת גם אפשרות לייבא לתוכנה כתב חומרים מלא באמצעות כל תוכנת CAD. ההשפעה הסביבתית נמדדת בפרמטרים המקובלים. הכלי מאפשר לבצע התאמה מקומית ולשנות פרמטרים המתייחסים לאנרגיה, סוגי כלי התחבורה המשמשים לשינוע, מרחקי שינוע, טכנולוגיות ייצור ועוד. ניתן גם להזין תקופות שירות שונות של בניין על פי שיקולם של אנשי המקצוע, דרישות רגולטוריות או דרישות מנגנוני ההסמכה.

שלבי החיים הנבחנים על ידי התוכנה הם שלבי הייצור והבנייה (A1-A5), שלב תחלופת חומרים (B4), האנרגיה האופרטיבית (B6), סוף החיים (C1, C2, C4) וההשפעות מעבר לגבולות המערכת (D). הערכת פליטות הקשורות לאנרגיה האופרטיבית (B6) מחייבות הזנת נתונים אודות צריכת האנרגיה השנתית המוערכת. התוכנה תחשב את סך הפליטות השנתיות בהתייחס גם לפליטות הקשורות לייצור האנרגיה, זיקוק הדלקים, שינוע וכיו"ב.<sup>63</sup>

## 7.2 Tally

רכיב תוכנה (Plug In) המתחבר לתוכנת REVIT ומאפשר לבחון את ההשפעה הסביבתית של מודלים שונים ושל חלופות תכנון שונות באמצעות ניתוח מחזור חיים בתוך התוכנה עצמה. התוכנה מתאימה בעיקר לשימוש בארה"ב והשימוש בתשלום. מתודולוגיית הפעולה של התוכנה תואמת את התקינה הבינ"ל ובכלל זה את תקני ISO ואת התקן האירופאי EN 15978.

התוכנה בוחנת השפעות סביבתיות משלב העריסה ועד סוף חיי המבנה כולל שלבי הייצור, השינוע, תחזוקה ותחלופה. ניתן בעזרתה גם לכמת את ההשפעות הסביבתיות של הליכי הבנייה והפליטות המקושרות לאנרגיה האופרטיבית של הבניין. שלבי החיים הנבחנים על ידי התוכנה הם שלבי הייצור והבנייה (A1-A5), תיקון, תחזוקה והחלפת חומרים (B2-B5), אנרגיה אופרטיבית (B6), סוף החיים (C2-C4), ושלב D המתייחס למגוון ההשפעות משימוש חוזר, מחזור, השבת אנרגיה וכד'.

התוכנה עושה שימוש במאגר מידע בלעדי אודות ההשפעות הסביבתיות של מגוון רחב של חומרים, מוצרים ופרטים אדריכליים הנפוצים בענף הבנייה בארה"ב. כמו כן ניתן באמצעותה לבחון אלמנטים רבים של המבנה כולל מגוון אלמנטים פנימיים ובכך לאפשר גמישות גדולה למתכננים לבחון חלופות הוליסטיות והגעה לתוצאות מדויקות יותר. התוכנה מוכרת על ידי LEED וכלי מדידה נוספים לביצוע הערכת מחזור חיים למבנים ולעמידה בדרישות.<sup>64</sup>

<sup>63</sup>Athena Sustainable Materials Institute, Athena Impact Estimator for Buildings, User Manual and Transparency Document, Impact Estimator for Buildings v.5, 2019. ([Link](#))

<sup>64</sup> Tally Website. ([Link](#))

תוכנה מבוססת רשת בעזרתה ניתן לערוך ניתוחי מחזור חיים למבנים ולהשוות בין ההשפעות הסביבתיות של חלופות תכנוניות שונות, פריטים אדריכליים שונים וכן של בחירת חומרים או שיטות בנייה. השימוש בתוכנה בתשלום וניתן לעשות בה שימוש בכל העולם. התוכנה מקושרת למאגר מידע ייעודי הכולל מידע אודות ההשפעות הסביבתיות של רוב החומרים והמוצרים הנפוצים בענף הבנייה. במקרה הצורך התוכנה גם מקושרת לבסיסי מידע אחרים במקומות שונים בעולם בהם ניתן לעשות שימוש. התוכנה מותאמת לעבודה עם תוכנות אדריכליות והיא מסוגלת לייבא מודלים מתוכנות Revit, Tekla ואחרות ולנתח על בסיסם את סך החומרים הנדרש לפרויקט ואת ההשפעות הסביבתיות הנלוות לכך.

התוכנה מותאמת לבחינת ההשפעות הסביבתיות בכל שלבי החיים של הבניין (שלבים A-D). היא מותאמת לשימוש עבור פרויקטים חדשים ועבור פרויקטי שיפוץ או תוספות בנייה. ניתן בעזרתה לבצע את הניתוח בכל שלבי התכנון, וגם אם אין בידי הצוות כתב כמויות של החומרים, התוכנה יכולה להסיק זאת באמצעות הזנת כמה פרמטרים ובהם סוג הבניין, שטחו ומספר הקומות.<sup>65</sup> התוכנה מוכרת על ידי LEED, Breeam, DGNB וכלי מדידה נוספים לביצוע הערכת מחזור חיים למבנים ולעמידה בדרישות כלי המדידה. למעשה, התוכנה כוללת תוספים ומחשבוני ייעודיים המותאמים לדרישות ולמתודולוגיות הפרטניות של מנגנוני ההסמכה ואשר מאפשרים למשתמשים להשתמש בכלי ייעודי למנגנון ההסמכה הרלוונטי.<sup>66</sup>

#### 7.4 סיכום

פרק זה סקר את כלי התוכנה המרכזיים בהם נעשה שימוש כיום בעולם כדי לעמוד בדרישות כלי מדידה לבנייה ירוקה. כאמור, כל כלי תוכנה עושה שימוש בטכניקות מידול, מאגרי מידע והנחות בסיס משלו. חלקם מותאמים למקומות פרטניים וחלקם יכול לשמש לביצוע ניתוחים במקומות שונים בעולם. חשוב להבין את המאפיינים של כל אחד מהכלים, השוני ביניהם והמגבלות של כל אחד. מחקרים שבוצעו בשנים האחרונות שבחנו מבנים זהים באמצעות כלי תוכנה שונים, גילו כי קיימים פערים משמעותיים בתוצאות מהספרות עולה כי לא ניתן להשוות בין תוצאות של ניתוחים שבוצעו בכלים שונים או אפילו בין תוצאות של גרסאות שונות של אותו כלי. השוני בין המתודולוגיות, הנחות המוצא ובסיסי המידע של כל כלי עשוי להיות גדול ולהשפיע על שונות גבוהה בתוצאות. יחד עם זאת, על אף שהכלים מוגבלים ביכולתם לשקף באופן מלא את תנאי החיים האמיתיים, ניתן להגדיל את מהימנות התוצאות על ידי בחירת הכלי המתאים ביותר ועל ידי הקפדה על מידול מיטבי של הפרויקט בתוך הכלי.

סיכום כלי תוכנה להערכת ההשפעות הסביבתיות במחזור חיים של מבנים				
זמינות	תוכנה	תאימות גאוגרפית	שלבי מחזור חיים	כלי
ללא עלות	חבילת תוכנה עצמאית	ארה"ב וקנדה	,B6 ,B4 ,A1-A5 D ,C1, C2, C4	Athena Impact Estimator
בתשלום	רכיב תוכנה ל- Revit	ארה"ב	,B2-B5 ,A1-A5 D ,C2-C4 ,B6	Tally
בתשלום	התאמה לתוכנות שונות כגון Revit ו- Tekla	כל העולם	A-D	OneClick

<sup>65</sup> OneClick LCA Website. ([Link](#))

<sup>66</sup> OneClick LCA, calculation tools and add-ons for building LCA assessments. ([Link](#))

שימוש במתודולוגיה להערכת מחזור חיים של מבנים הפכה לנפוצה במקומות רבים בעולם בזכות הגישה המקיפה והשיטתית להערכת השפעות סביבתיות. אימוץ מתודולוגיה זו על ידי מערכי הסמכה לבנייה ירוקה ועל ידי מדינות וגופים רגולטורים מסייעת בקידום הידע והעלאת המודעות אודות ההשפעות הסביבתיות ממבנים, וכן מאפשרת לגופים ולרשויות לקדם עמידה ביעדים סביבתיים בכלי מדיניות מגוונים כמו רגולציה, תמריצים או מיסוי. עם זאת, התחום נמצא בשלבי צמיחה ופיתוח והוא מתמודד עם סוגיות המטילות ספק במהימנות התוצאות וביכולת לבצע השוואה. פרק זה דן בכמה מהסוגיות שעולות בשיח המקצועי הנוכחי.

### 8.1 שונות בין מאגרי מידע

ניתוחי מחזור חיים, ובפרט של מבנים, דורשים כמות גדולה של נתונים. לאיכות הנתונים השפעה ישירה על איכות ומהימנות התוצאה הסופית של הניתוח. אחד הקשיים המרכזיים לביצוע הערכת מחזור חיים לבניין קשור באיסוף הנתונים אודות ההשפעות הסביבתיות ונובע מהיקף החומרים והמוצרים הגדול בו נעשה שימוש בפרויקט בנייה וכן ממגוון הספקים והמותגים המתחרים בשוק. כמענה לכך הוקמו מאגרי מידע אודות ההשפעות הסביבתיות של חומרים, מוצרים ותהליכים בענף הבנייה. אלו נשענים על ניתוחי LCA והצהרות EPD. מאגרי המידע מוקמים ומנוהלים על ידי גופים שונים: זרועות ממשל, ארגונים שאינם ממשלתיים וחברות פרטיות. השימוש במאגרי המידע מאפשר לצמצם את המאמצים והמשאבים הנדרשים לאיסוף המידע הסביבתי של כל חומר או מוצר. מאגרי המידע נמצאים גם ברקע של כלי תוכנה המשמשים לניתוח הערכת מחזור חיים. בעזרת מאגרי המידע הללו כלי התוכנה מצליחים לבצע ניתוחים, לספק במהירות תוצאות ולחסוך מצוות התכנון עבודה סזיזיפית ומסורבלת.

ישנם כיום מאגרי מידע רבים וביניהם קיימת שונות גדולה. השונות היא תולדה של פרקטיקות מקומיות, שוני בתהליכי הייצור, מידת הנגישות למידע ותדירות עדכון המידע. בשל השונות, יש קושי מתודולוגי בהשוואת נתונים בין מאגרי מידע שונים ובהשוואת תוצאות ניתוחים שהתבססו על מאגרי מידע שונים. לכל מאגר מידע יש את התנאים והמגבלות שלו, דבר שלא תמיד חשוף למשתמשי הקצה. אפילו אם רוב תהליכי ההערכה חשופים, חלק מתהליכי החישוב ועיבוד המידע לרוב מוסתר לצורך שמירה על סודיות. לדוגמה, חלק מהמאגרים עושים שימוש בתהליכי דמה, המשתמשים בנתוני פרוקסי ממקורות אחרים כדי לגשר על פערים קיימים במידע.<sup>67</sup> מחקר שבחן למעלה מ-100 מאגרי מידע בעולם מצא כמה סוגיות משנה. ראשית קיים שוני בפורמט בו מוגש המידע וישנם אף מקרים בהם הנתונים מוצגים כ-PDF, דבר המקשה על ניתוח המידע. כמו כן לעיתים לא ניתן לייבא נתונים אלא רק לבצע השוואה של חומרים בתוך המאגר עצמו. מאגרי מידע אחרים פותחו מתוך מטרה להיות מותאמים לכלי תוכנה. רוב המאגרים משקפים את תנאי השוק של מדינה פרטנית ומכוונים לשוק המקומי, על כן התאמתם להערכת פרויקטי בנייה במקומות אחרים מוטלת בספק. ברמת המוצר, ההבדלים בין נתוני LCA ממאגרי מידע שונים אינם מאד משמעותיים פר יחידת מדידה. יחד עם זאת, בהערכה של בניין שלם הבדלים אלו יכולים להביא לשוני גדול בתוצאות.<sup>68</sup>

<sup>67</sup> Haibo Feng et al, Exploring the current challenges and emerging approaches in whole building life cycle assessment, Canadian Journal of Civil Engineering 49(2), April 2021.

<sup>68</sup> Chang-U Chae et al, World Building Life-Cycle Based Databases and Repositories for the Building and Construction Sector, International Energy Agency, February 2023. ([Link](#))

מחקרים שנערכו בנושא אכן איששו קביעה זו והצביעו על פערים גדולים בניתוחים שבוצעו עבור מבנים בעלי מאפיינים זהים באמצעות מאגרי מידע שונים. מחקר שבוצע בשנת 2019 השווה בין מאגרי מידע על ידי בחירת החומרים המתאימים ביותר מכל מאגר מידע לביצוע ניתוח מחזור חיים של שני מבני מגורים. התוצאות הראו פערים גדולים בין המאגרים.<sup>69</sup> מחקר שבוצע בשנת 2018 השווה בין מספר מאגרי מידע והראה שקיים חוסר עקביות שנובע בעיקר בשל הכמות המוגבלת של מידע זמין אודות חומרי הבנייה, שוני בהגדרה של גבולות המערכת (שלבי מחזור החיים הנבחרים) בכל מאגר, והבדלים גיאוגרפיים בהפקת החומרים וייצור החשמל.<sup>70</sup>

## 8.2 שוני בהגדרת משך חיי השירות של המבנה (Reference Study Period)

משך חיי השירות מתייחס לתקופת החיים המוגדרת לטובת עריכת הניתוח של המבנה. הגדרה זו משפיעה בדרך כלל על היכולת להעריך את היקף ההשפעות הסביבתיות בשלב התפעול של המבנה, כדוגמת סך הפליטות הקשורות לצריכת האנרגיה, היקף השימוש במים וכמות החומרים והמוצרים שידרשו לתחלופה. משום שאין יכולת לדעת מראש את תקופת החיים של המבנה, הנתון בו יעשה שימוש בניתוח עשוי להיקבע על ידי רגולציה רלוונטית, דרישות ותנאים של מנגנוני הסמכה או על ידי צוות הפרויקט. מנגנוני ההסמכה הבולטים מגדירים לרוב את משך חיי השירות כפרק זמן של 50-60 שנה, אך במקרים מסוימים הוא יכול להיקבע גם לפרקי זמן ארוכים יותר ועשוי להשתנות בהתאם למאפייני הבניין ולסוג השימוש. כך לדוגמה, מערך ההסמכה של ה-DGNB בדנמרק (הגרסה הדנית של מערך ההסמכה שמקורו בגרמניה), הגדיר תקופות זמן של 80 שנה למבני משרדים, 100 שנה לבתי חולים ו-120 שנה למבני מגורים.<sup>71</sup>

הנחת המוצא לגבי משך חיי השירות של המבנה משפיעה על תוצאות הערכת מחזור חיים. מחקרים הצביעו על כך שדרישת האנרגיה השנתית של מבנה עשויה לרדת בכ-14% כאשר משך חיי השירות משתנה מ-50 שנים ל-75 שנים.<sup>72</sup> כמו כן, מחקר שנעשה בשנת 2020 ובחן את ההשפעות של הגדרת פרקי זמן שונים על תוצאות של ניתוחי הערכת מחזור חיים גילה כי הגדרת טווחי זמן ארוכים (למעלה מ-60 שנה) מגדילה את אי הוודאות הקשורה לתרחישי הניתוח ויוצרת בעיות מתודולוגיות שונות שפוגעות במהימנות התוצאות.<sup>73</sup>

## 8.3 שוני בהגדרת גבולות המערכת (System boundary)

המתודולוגיה להערכת מחזור חיים מתייחסת לשלבים שונים במחזור החיים של מבנים (שלבים A-C) המחולקים לארבע קבוצות עיקריות: (1) ייצור; (2) בנייה; (3) שימוש ותפעול; ו-(4) סוף החיים. לכל קבוצה מספר שלבים אשר יחדיו מגדירים את 'גבולות המערכת' (System Boundary), קרי גבולות

<sup>69</sup> Nargessadat Emami et al, A Life Cycle Assessment of Two Residential Buildings Using Two Different LCA Database-Software Combinations: Recognizing Uniformities and Inconsistencies, Buildings 9(1), 2019.

<sup>70</sup> Yue Teng, Comparing Life Cycle Assessment Databases for Estimating Carbon Emissions of Prefabricated Buildings, Construction Research Congress 2018.

<sup>71</sup> Freja Nygaard Rasmussen et al, The choice of reference study period in building LCA – case-based analysis and arguments, IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 2020. ([Link](#))

<sup>72</sup> Haibo Feng et al, Uncertainties in whole-building life cycle assessment: A systematic review, Journal of Building Engineering, Vol. 50, 2022. ([Link](#))

<sup>73</sup> Freja Nygaard Rasmussen et al, The choice of reference study period in building LCA – case-based analysis and arguments, IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 2020. ([Link](#))

המתודולוגיה המבטאת מחזור חיים של בניין 'מעריסה לקבר'. גבולות המערכת קובעים את התהליכים שיכללו בהערכת ההשפעות הסביבתיות של מבנה, אך כפי שנסקר קודם לכן במסמך זה, אין מתודולוגיה אחידה ומוסכמת לכך. למעשה, כל גוף רגולטורי או כל מערך הסמכה לבנייה ירוקה מגדיר באופן עצמאי אילו שלבים חובה לכלול בגבולות המערכת ואילו שלבים הם וולונטאריים. שונות זו פוגעת ביכולת להשוות בין תוצאות של ניתוחים המתבצעים במסגרות שונות. כמו כן, היות ומערכי הסמכה ודרישות רגולטוריות שונות כוללים גם שלבים שהם בגדר 'רשות', הרי שהוספת שלבים כאלו לניתוח לא רק שתגדיל את ההשפעה הסביבתית של המבנה (ובכך תהווה תמריץ שלילי להכללת השלבים הללו בניתוח), אלא תיצור עיוותים בהשוואה של תוצאות הניתוח לתוצאות מבנים זהים אשר מנותחים באמצעות אותן כלי ובמסגרת אותה מתודולוגיה אך כוללים את שלבי החובה בלבד.<sup>74</sup>

#### 8.4 שוני במרכיבי המבנה הנכללים בניתוח

תקן EN 15978 מדגיש את החשיבות שיש להגדרה מדויקת של המודל של המבנה הנבחן ופירוט מדויק של מרכיביו. זאת במטרה להבטיח שקיפות ובהירות ביחס למרכיבי המבנה שנכללים בניתוח והגדלת מהימנות התוצאות והיכולת לפרש אותן. כפי שנסקר בפרקים קודמים של מסמך זה, כל מסגרת מתודולוגית להערכת מחזור חיים של מבנה, בין אם מדובר במנגנון הסמכה לבנייה ירוקה או בין אם מדובר במסגרת רגולטיבית אחרת, מגדירה באופן שונה את מרכיבי המבנה שחובה לכלול בניתוח. על כן קיים קושי להשוות בין תוצאות של ניתוחים שונים. כמו כן, רמת הפירוט הנדרשת בכל קטגוריית ניתוח אינה מוגדרת תמיד בבירור או מכסה את כל החלקים, וזה יכול לפגוע בפרויקטים הנוקטים בגישה מרחיבה המתייחסת ליותר מרכיבים. מכיוון שהכללת מרכיבים נוספים תביא בדרך כלל להגדלת ההשפעה הסביבתית, לרוב הבחירה היא להיצמד לדרישות המינימום.<sup>75</sup> מחקרים שבוצעו בשנים האחרונות גילו כי אלמנטים שלרוב אינם נכללים בניתוח, כגון רכיבי פנים ורכיבי מערכות תשתית ומערכות אקלום, הם בעלי השפעה סביבתית גבוהה משחשבו בעבר. מחקרים גילו למשל, כי מערכות מכניות, חשמל ואינסטלציה עשויות לגלם 20%-50% מפליטות הפחמן במבנים חדשים.<sup>76</sup> לפיכך, מרכיבי הבניין שנבחרו ורמת הפירוט של כל מרכיב, יכולים להשפיע באופן משמעותי על תוצאות הניתוח הכולל.

#### 8.5 שוני בהשוואת הביצועים הסביבתיים

הוכחת העמידה של המבנה מושא ההערכה ביעדים סביבתיים מתבצעת בדרך כלל באמצעות השוואה לנתוני ייחוס. ישנן שלוש שיטות עיקריות בהן מקובל לבצע את ההשוואה:

1. השוואה לנתונים של מבנה ייחוס המגובש באופן פנימי על ידי צוות התכנון והוכחת הפחתה: השוואת הביצועים הסביבתיים של המבנה מושא ההערכה למבנה ייחוס תאורטי בעל מאפיינים אדריכליים זהים בנוגע לשטח, גודל, צורה, הפניות וכיו"ב המגובש באופן עצמאי על ידי צוות התכנון ומבטא סטנדרט בנייה מקומי טיפוסי. כללים מפורטים לביצוע ההשוואה כלולים בדרך כלל במסמכי הסבר

<sup>74</sup> Paul Astle et al, Comparing differences in building life cycle assessment methodologies, Ramboll, 2023. ([Link](#))

<sup>75</sup> Paul Astle et al, ([Link](#))

<sup>76</sup> Thomas Lützkendorf, Context-specific assessment methods for life cycle-related environmental impacts caused by buildings, International Energy Agency, 2023. ([Link](#))

ללוויים. לדוגמה, הניתוח עבור שני המבנים חייב להתבצע בתוכנה זהה, באמצעות אותם בסיסי נתונים ותחת אותן הנחות.

2. השוואה לנתוני ייחוס שגובשו על ידי גורם חיצוני והוכחת הפחתה: השוואת הביצועים הסביבתיים של המבנה מושא ההערכה לערכי ייחוס תאורטיים וגנריים שגובשו על ידי צד ג' רלוונטי (רגולציה או מערך הסמכה של כלי מדידה). ערכים אלו מוגדרים בדרך כלל על בסיס מחקר מעמיק של הפרקטיקה המקומית ותוך שיתוף של בעלי עניין רבים. לרוב הערכים שגובשו משתנים בהתאם לסוג השימוש בבניין.

3. השוואה לערכי ייחוס מקסימליים והוכחת היקף פליטות נמוך יותר: השוואת הביצועים הסביבתיים של המבנה מושא ההערכה לערכים מקסימליים שגובשו על ידי גורם רגולטיבי. בצרפת ובלונדון למשל פותחו נתוני ייחוס הרלוונטיים לטיפולוגיות הבנייה הנפוצות בעיר על פי סוג השימוש (משרדים, מגורים, מסחר ומוסדות חינוך). את תוצאות הניתוח יש להשוות לנתוני הייחוס של הטיפולוגיה המתאימה ביותר עבור הפרויקט.

מהמחקר עולה כי הדרישות בכלי מדידה לבנייה ירוקה מנוסחות בדרך כלל בהתאם לשיטה הראשונה או השנייה ומבקשות להשוות את המבנה מושא ההערכה למבנה ייחוס. בשונה, הדרישות ברגולציה הלאומית או המקומית מגדירה בדרך כלל ערכי פליטות מקסימליים שאין לעבור אותם.

שיטות להשוואת הביצועים הסביבתיים		
שיטה	הסבר	דוגמאות
השוואה לנתונים של מבנה ייחוס המגובש באופן פנימי על ידי צוות התכנון והוכחת הפחתה	השוואת הביצועים הסביבתיים של המבנה מושא ההערכה למבנה ייחוס תאורטי בעל מאפיינים אדריכליים זהים בנוגע לשטח, גודל, צורה, הפניות וכיו"ב המגובש באופן עצמאי על ידי צוות התכנון	LEED, DGNB, Green Star
השוואה לנתוני ייחוס שגובשו על ידי גורם חיצוני והוכחת הפחתה	השוואת הביצועים הסביבתיים של המבנה מושא ההערכה לערכי ייחוס תאורטיים/גנריים שגובשו על ידי צד ג' רלוונטי כגון מערך הסמכה של כלי מדידה	BREEAM
השוואה לערכי ייחוס מקסימליים והוכחת הפחתה	השוואת הביצועים הסביבתיים של המבנה מושא ההערכה לערכים מקסימליים שגובשו על ידי רגולציה מקומית	צרפת, הולנד, לונדון

## 8.6. שוני באופן ההגדרה של השטח לניתוח

תוצאות ניתוחי מחזור חיים של מבנים מכומתות בדרך כלל על בסיס יחידה של שטח רצפה. קרי, היקף הפליטות נמדד ביחס לשטחי הרצפה של הפרויקט. על כן, אופן ההגדרה של שטח הרצפה משפיע על היקף שטח הרצפה הכולל בפרויקט, ובעקבות זאת על התוצאה הסופית של הניתוח. הגדרת שטח הרצפה נגזרת לרוב מהפרקטיקה המקובלת בכל מדינה. בדרך כלל, נעשה שימוש בווריאציה כזו או אחרת של 'שטח רצפה ברוטו'. יחד עם זאת ההגדרה של 'שטח רצפה ברוטו' אינה אחידה והיא משתנה בין מדינה למדינה. ניתן לסווג את ההגדרה לשתי קבוצות עיקריות: (1) הגדרות הכוללות את הקירות החיצוניים ו-2) הגדרות שכוללות את חללי הפנים ללא הקירות החיצוניים. ישנן כמובן הגדרות ביניים הכוללות רק חלק משטח הקירות החיצוניים או רק חלק ממרכיבי הקירות. בנוסף, חללים מחוץ למעטפת העיקרית של הבניין,

כגון מרפסות (פתוחות או סגורות), נכללים רק בחלק מההגדרות. ישנן מדינות בהן שטחי הרצפה לניתוח הם רק החללים הסגורים שאותם ניתן לאקלם.<sup>77</sup>

#### 8.7. פערים בתוצאות בין כלי תוכנה

במקרים רבים, ניתוחי הערכת מחזור חיים למבנים מתבצעים בעזרת כלי תוכנה בבעלות גורמים חיצוניים לצוות הפרויקט. כלים אלו האיצו את המהירות שבה ניתן לבצע את הניתוחים והקלו מאוד על היכולת של צוותי תכנון ובנייה לעמוד בדרישות רגולטוריות בנושא. יחד עם זאת, כל כלי תוכנה עושה שימוש בטכניקות מידול, מאגרי מידע, ערכי ברירת מחדל והנחות בסיס משלו. חלקם מותאמים למקומות פרטניים וחלקם יכול לשמש לביצוע ניתוחים במקומות שונים בעולם. כל הבדל מובנה בשיטות החישוב של כלי התוכנה משפיע על התוצאה הסופית.

מחקרים שבוצעו בשנים האחרונות שבחנו מבנים זהים באמצעות כלי תוכנה שונים, גילו כי קיימים פערים משמעותיים בתוצאות שיכולים להגיע עד 30%. מהספרות עולה כי לא ניתן להשוות בין תוצאות של ניתוחים שבוצעו בכלים שונים או אפילו בין תוצאות של גרסאות שונות של אותו כלי. השוני בין המתודולוגיות, הנחות המוצא ובסיסי המידע של כל כלי עשוי להיות גדול ולהשפיע על שונות גבוהה בתוצאות. כמו כן, היעדר שקיפות בנוגע לדרך החישוב של התוכנות, ההנחות וערכי ברירת המחדל בהם נעשה שימוש, מקשים על זיהוי המקומות בהם קיימים פערים ועל טיפול בהם.<sup>78</sup>

#### 8.8. קשיים מתודולוגיים בניתוח שלב D

שלב D אינו שלב מחזור חיים רגיל אלא נמצא מעבר ליגבולות המערכת ומתייחס למגוון ההשפעות משימוש חוזר, מחזור, השבת אנרגיה וכד'. לרוב שלב זה אינו נכלל בדרישות החובה של כלי המדידה אך ישנן מסגרות המחייבות הכללה שלו בניתוח. היותו לרוב אופציונאלי נובע מכך שהמתודולוגיה הקשורה אליו נתקלת באתגרים אשר מטילים ספק ביכולת להגיע לתוצאות מהימנות. להלן התייחסות קצרה לקשיים המתודולוגיים הללו.

ככלל, בתום חייו של בניין, הוא מפורק או נהרס. בתהליך זה נוצרים סוגים שונים של חומרי פסולת שמועברים להטמנה, למחזור או לייצור אנרגיה. במקרים מיוחדים, ניתן לעשות שימוש חוזר ברכיבי בניין מפורקים בפרויקט אחר. היכולת לעשות שימוש חוזר או למחזר חומרי בנייה מושפעת ממספר גורמים: התכונות והמאפיינים של חומרי הבנייה; אופן התכנון והבנייה של הבניין (השפעה על היכולת לבצע פירוק או מחזור); האופן בו תוחזק המבנה או השפעות שנובעות מאופן השימוש בו לאורך מחזור חייו; אופן התכנון לפירוק ואופן ביצוע פירוק הרכיבים והמבנים עצמם; אופן עיבוד הפסולת; והביקוש העתידי למוצרים בשימוש חוזר/או חומרים ממוחזרים. בשל כל אלה, הסתברות מימושם של תרחישים המנסים לנבא תהליכים בשלב D היא, במקרה הטוב, מוגבלת. בהתחשב באופי הספקולטיבי של תרחישים אלה ותוחלת החיים הארוכה של בניין, נקבע בתקינה הרלוונטית (ISO 21931, EN 15978) כי הדיווח של שלב D יתבצע בנפרד כמידע משלים.

<sup>77</sup> Paul Astle et al, Comparing differences in building life cycle assessment methodologies, Ramboll, 2023. [\(Link\)](#)

<sup>78</sup> Paul Astle et al, Comparing differences in building life cycle assessment methodologies, Ramboll, 2023. [\(Link\)](#)

היבט נוסף קשור בצורך להבחין בין ניתוח של המוצרים לבין ניתוח של המבנה השלם. קרי, יש להבחין האם ההערכה מתייחסת לפוטנציאל המחזור של מוצרי/רכיבים/מערכות בניין או לפוטנציאל המחזור של הבניין השלם. שימוש במוצרי בנייה בעלי פוטנציאל מחזור גבוה הוא תנאי הכרחי לקיומה של אפשרות למחזור חלקי מבנים. ביחס לפליטות גזי החממה, מחקרים מראים שהפליטות בשלב D נמוכות יחסית ולא עולות על 5% מכלל הפליטות במחזור החיים. היותו של שלב זה שולי יחסית מבחינת היקף הפליטות (והקשיים המתודולוגיים המלווים אותו) מקטין את התמריץ לכלול אותו בניתוח. יחד עם זאת, ככל שיש רצון לנתח זרימה מעגלית מלאה של החומרים והפליטות, יש לעשות זאת בזהירות המתבקשת ותוך ציון המגבלות.<sup>79</sup>

## 8.9 סיכום

תוצאת ניתוח הערכת מחזור חיים תלויה מאוד בבחירות שנעשו, בתרחישים שנבנו ובהנחות שהונחו בעת תהליך המידול של האובייקט הנחקר. כאשר מיישמים ניתוח מסוג זה במערכת מורכבת ורבת אלמנטים כמו בניין, מספר הסוגיות שמחייבות התייחסות גבוה במיוחד, וכללי אצבע והנחות בהם נעשה שימוש בתהליך המידול פוגעים במהימנות התוצאות.<sup>80</sup> מהפרק עולה בבירור כי קיימות סוגיות רבות אשר עשויות להשפיע על תוצאות הניתוח. לכן יש קושי להשוות בין תוצאות של ניתוחים שונים, ושבוצעו באמצעות מתודולוגיות שונות. כך למשל, מחקר שנערך בשנת 2019 בחן את הפערים הקיימים בין 21 מתודולוגיות להערכת מחזור חיים של מבנים במדינות שונות בעולם. במהלך המחקר בוצע ניתוח הערכת מחזור חיים למבנה משרדים קיים באוסטריה אשר באמצעות מודל BIM פורק למרכיביו השונים. כל המתודולוגיות לקחו בחשבון כמויות זהות של חומרים והיקף זהה של צריכת אנרגיה אופרטיבית. המתודולוגיות נבדלו בשלבי החיים הנבחרים, משך זמן השירות של הבניין הנבחר, מאגרי המידע בהם עשו שימוש, מודלי החישוב שלהם, הנחות המודל וערכי ברירת מחדל. השונות בתוצאות הניתוח הייתה קיצונית. סך פליטות החממה שדווחו נע בין 10 ל-71 ק"ג פחמן דו חמצני (אקוויולנט) למ"ר, כך שהפער בין המתודולוגיה בה היקף הפליטות היה הנמוך ביותר לבין המתודולוגיה בה היקף הפליטות היה הגבוה ביותר עמד על פי 7.81 יחד עם זאת, יש להניח כי ככל שהפרקטיקה הופכת לנפוצה יותר וככל שהמחקר בתחום מתקדם ומעמיק, כך היקף הקשיים המתודולוגיים יפחת. בנוסף, מאמצים מתקיימים להאחדה בין מתודולוגיות שונות כך שהפערים בין המתודולוגיות בעתיד עשוי להצטמצם.

<sup>79</sup> Thomas Lützkendorf et al, Context-specific assessment methods for life cycle-related environmental impacts caused by buildings, International Energy Agency, 2023. ([Link](#))

<sup>80</sup> Marcella Ruschi Mendes Saade et al, Comparative whole building LCAs: How far are our expectations from the documented evidence? Building and Environment, Volume 167, 2020.

<sup>81</sup> R Frischknecht, H Birgisdottir, Ch U Chae, T Lützkendorf, A Passer, et al, Comparison of the environmental assessment of an identical office building with national methods. Sustainable Built Environment Conference 2019, Sep 2019, Graz, Austria. ([Link](#))

המתודולוגיה להערכת מחזור חיים נטמעת בהדרגה בישראל מזה כמה שנים, בעיקר בשוק חומרי ומוצרי הבנייה. זאת הודות ליישום של כמה אמצעי מדיניות שהבולט בהם הוא הכללת דרישות רלוונטיות בתקן הישראלי לבנייה ירוקה (ת"י 5281). כמו כן סייעו להטמעה בניית מאגרי מידע ראשוניים כגון אתר ['הקטלוג'](#) המנוהל על ידי המועצה הישראלית לבנייה ירוקה (מלכ"ר) ומאגר המוצרים של [חברת SID](#) שבניהול פרטי. כיום פועל המשרד להגנת הסביבה לבניית מאגר מידע ארצי אשר יאגד את כלל המידע הסביבתי (LCA ו-EPD) שקיים עבור מוצרי בנייה בישראל. כמו כן פועל המשרד לבניית מסד נתונים שיכלול נתונים אודות הפחמן הגלום במוצרי הבנייה המרכזיים בסקטור הבנייה בישראל. אלו בוודאי יסייעו להסדיר ולקדם את הפרקטיקה בישראל. פעילות להעלאת המודעות המבוצעת ביוזמת המשרד להגנת הסביבה וארגונים סביבתיים שונים תורמים גם הם לקידום הנושא. על אף כל אלו, היקף החומרים עבורם בוצעו LCA ו-EPD עדיין נמוך ביחס לשווקים במדינות המובילות בעולם.

הערכת מחזור חיים למבנים בישראל היא פרקטיקה נדירה למדי שישוומה החל רק בשנים האחרונות. היא מתבצעת בעיקר במסגרת תהליכי התעדה של מבנים לדרישות ה-LEED, ובמקרים מעטים גם כיוזמה עצמאית של חברה לבחון את טביעת הרגל הסביבתית של פרויקט בנייה ולפעול לצמצומה.

לטובת איפיון יישום הפרקטיקה בישראל, התקיים שיח עם חברת 'אלפא פרויקטים ירוקים בע"מ' העוסקת בתכנון, ליווי והסמכה של פרויקטי בניה ירוקים ומתמחה בהסמכה ל-LEED, ועם חברת 'קיימות ושפ"ע KVS' שעוסקת גם היא בליווי ובהסמכה של פרויקטי קיימות ובנייה ירוקה ומתמחה במדידה, הפחתה וקביעת פחמן. שתי החברות ביצעו ניתוח הערכת מחזור חיים למספר פרויקטים חדשים בישראל כחלק מתהליך ההתעדה של המבנים ובמטרה לעמוד בדרישה הרלוונטיות ב-LEED או כחלק מרצונה של חברה לבחון את טביעת הרגל הפחמנית של מבנה. להלן בחינה של כמה היבטים הנוגעים לפרקטיקה כפי שמבוצעת על ידי שתי החברות:<sup>82</sup>

**מאפייני המבנים:** רוב המבנים עבורם בוצעה הערכת מחזור חיים הם מבני משרדים, גובהם למעלה מ-10 קומות, והם מאופיינים בבנייה מבטון ומעטפות מזוגגות. לרוב מדובר במבנים הממוקמים במרכז הארץ. יחד עם זאת בוצעה גם הערכה עבור מבני מגורים.

**כלי עזר לביצוע הניתוח:** כשהמטרה היא לעמוד בדרישות ה-LEED הניתוח מתבצע בעיקר באמצעות תוכנת One Click LCA. תוכנה זו נבחרה משום שבאמצעותה ניתן לנתח את כל שלבי מחזור החיים של מבנה. כמו כן, כלים אחרים שנבחנו אינם מותאמים לישראל ולא כוללים נתונים וערכי בסיס הרלוונטיים לשוק הישראלי. השימוש בתוכנה הוא בתשלום. תוכנות אחרות שהוזכרו, ושבאמצעותן ניתן לנתח חלק משלבי החיים, הן SimaPro ו-Bimmatch.

**תזמון עריכת הניתוח:** ככל שהמטרה היא לעמוד בדרישה הרלוונטיות ב-LEED, הניתוח מתבצע בדרך כלל פעם אחת בשלב הסופי של התכנון או לאחר תחילת הבנייה. במקרה זה הניתוח אינו משמש כלי לבחינת חלופות התכנון, היות וקל יחסית לעמוד בדרישה ולקבל את הניקוד המקסימלי. על כן אין תמריץ לבצע

<sup>82</sup> חלק זה של העבודה מבוסס על ראיונות עם אדר' לורל דורפמן, יועצת בנייה ירוקה ומנהלת פרויקטים בחברת אלפא פרויקטים ירוקים בע"מ, עם נחי ברוט, מנכ"ל ושותף ב-KVS ועם שי בן אהרון, מנהל צוות תעשייה וחברות ב-KVS.

את הניתוח בשלבי התכנון המוקדמים. ככל שקיים עניין אצל הלקוח להבין את טביעת הרגל הסביבתית של פרויקט בנייה ולפעול לצמצומו, הניתוח מתבצע מספר פעמים בשלבים שונים של תהליך התכנון.

**שלבי מחזור החיים לניתוח:** ככל שהמטרה היא עמידה בדרישת ה-LEED, שלבי מחזור החיים שעבורם מתבצע הניתוח הם השלבים המינימליים הנדרשים בכלי המדידה: שלבי הייצור (A1-A3), שינוע לאתר הבנייה (A4), שלב אחד לכל הפחות משלבי התפעול (B1-B5) ושלב אחד לכל הפחות משלבי סוף החיים (C1-C4). במקרה זה הגדרת השלבים לניתוח הנדרשים כדי לעמוד בדרישת ה-LEED מובנית כבר כברירת מחדל בתוך התוכנה. כמו כן לא קיים תמריץ לכלול שלבים נוספים בניתוח היות וזה יביא לעלייה בהשפעה הסביבתית של המבנה, ועלול לפגוע ביכולת לעמוד בדרישה ולזכות במלוא הניקוד. ככל שהניתוח מתבצע שלא בכדי לעמוד בדרישת כלי מדידה, קיים חופש בחירה של השלבים שיכללו בניתוח. בחירת השלבים מתבצעת על בסיס מטרות הניתוח ותוך קיום שיח עם הלקוח ואדריכל הפרויקט.

**מרכיבי המבנה הנכללים בניתוח:** גם כאן, ככל שהמטרה היא עמידה בדרישת ה-LEED, מרכיבי המבנה שנכללים בניתוח הם המרכיבים המינימליים המוגדרים על ידו. אלו כוללים את מרכיבי השלד והמעטפת ואינם כוללים מערכות או אלמנטים הנוגעים לפיתוח. מדובר ב-4 חומרים עיקריים: בטון, זכוכית, אלומיניום וברזל. רשימת מרכיבי המבנה שיש לבחון על פי דרישת ה-LEED מוגדרת באופן מובנה בתוכנת OneClick. התוכנה מאפשרת הוספה של חומרים על פי בחירה וניתן לכלול גם חומרי פנים, עץ, קרמיקה, צבע ועוד. יחד עם זאת, אין תמריץ לכלול אלמנטים נוספים שעתידיים להגדיל את טביעת הרגל הפחמנית של המבנה, אלא אם הניתוח מבוצע שלא במטרה לעמוד בדרישת כלי המדידה. במקרה כזה, מרכיבי המבנה הנכללים בניתוח נבחרים בהתאם למטרות הניתוח ובשיח עם הלקוח ועם אדריכל הפרויקט.

**חישוב כמות החומרים בבניין:** עבור כל חומר ניתן לבחור האם לעשות שימוש בכתב הכמויות של הפרויקט או לבצע תחשיב באמצעות התוכנה על בסיס מאפייני המבנה. התחשיב מבוצע בנפרד עבור כל חומר ויכול להתבצע על בסיס שטח המבנה או על פי נפח החומר. קיימת אפשרות שכל חומר יחושב בשיטה שונה.

**הגדרת אמות מידה/בנצ'מרקים אודות ההשפעות הסביבתיות של חומרים:** ערכים גנריים עבור חומרי בנייה טיפוסיים הנהוגים בשוק בישראל מוגדרים על ידי One Click בהתבסס על מחקר פנימי שבוצע לשוק הישראלי ועל בסיס מוצרים מקבילים מהעולם. בחינה של כל מוצר כוללת התייחסות לכמה היבטים והגדרה של כמה ערכי ברירת מחדל כדוגמת מרחקי שינוע וכיו"ב. יש לערוך בקרה על הנתונים כדי לוודא שהערכים אכן הגיוניים ומתאימים לשוק הישראלי. במקרה וישנן השגות ניתן לנהל על כך דיון וככל שזה נמצא מוצדק לשנות את הנתונים בהתאם. ככל שישנם ניתן גם להעלות נתוני EPD של מוצרים פרטניים.

**הגדרת נתוני מבנה הייחוס:** מאפייני וערכי מבנה הייחוס מוגדרים על ידי יועצי הקיימות בשיתוף עם אדריכל הפרויקט, על בסיס הניסיון המקצועי. ככל שהמטרה הינה עמידה בדרישות כלי מדידה יש לעמוד בתנאים ובדרישות שהוגדרו. במסגרת תהליך ההתעדה יש להסביר את הרציונל שהביא להגדרת מבנה הייחוס ולהצדיק שאכן מבנה הייחוס משקף מבנה טיפוסי בשוק בישראל.

**מגבלות הניתוח:** יש לקחת בחשבון שהעבודה עם התוכנה דורשת בקרה ולא ניתן לסמוך באופן עיוור על הנתונים בה ועל התחשיבים שמבוצעים על ידה. במהלך העבודה עם התוכנה התגלו כמה פערים. באחד הפרויקטים, הגדלה של שיעור המחזור של הברזל השפיעה על גידול בפרמטר האטרופיקציה וזה נבע מבעיה במודל של התוכנה. לאחר פנייה יזומה העניין תוקן. בנוסף, חשוב להבין שתוצאות הניתוח משקללות הנחות ונתונים רבים והן מהוות הערכה בלבד ואינן משקפות תמונה מדויקת.

מחקר זה הציג תמונת מצב עדכנית של הניסיון בעולם בהטמעת גישת הערכת מחזור חיים של מבנים והשימוש בה, תוך הסבר המתודולוגיה, בחינת הסביבה הרגולטיבית המתפתחת, בחינת אופן ההטמעה בכלי הערכה לבנייה ירוקה והצגת כלי העזר בהם נעשה שימוש. כמו כן בוצעו זיהוי ומיפוי של סוגיות מרכזיות אשר עלולות בספרות המחקר ובספרות המקצועית בעולם ככאלו המקשות על יצירת תוצאות אמינות וניתנות להשוואה.

פרקטיקת ה-LCA למבנים מעוגנת כאמור בתקני ISO 14040 ו-ISO 14044 אשר קובעים עקרונות, מסגרת פעולה, דרישות והנחיות, ותקני ISO 14025 ו-ISO 21930 הקובעים מסגרת ודרישות להכנת הצהרות סביבתיות למוצרים (EPD). התקן האירופאי EN 15978 מגדיר מתודולוגית חישוב להערכת הביצועים הסביבתיים של מבנה ומספק קווים מנחים לדיווח ולתקשור של תוצאת ההערכה. המתודולוגיה המתוארת בתקן EN 15978 היא המקובלת כיום בעולם לביצוע הערכת מחזור חיים למבנים.

### 10.1 סיכום ומסקנות

המחקר סקר את אופן הטמעת המתודולוגיה להערכת מחזור חיים של מבנים במסגרת הרגולציה הציבורית במקומות שונים בעולם. ככלל, המדינות בהן ההתייחסות לנושא היא המתקדמת ביותר הינן מדינות אשר מנהלות ומקדמות מדיניות סביבתית שאפתנית גם בנושאים נוספים והאגינדה הסביבתית נמצאת במקום גבוה בסדר העדיפויות הלאומי. כמו כן, המדינות עם הדרישות המתקדמות ביותר בנושא אנרגיה אופרטיבית הן גם המדינות המבקשות לקדם מדיניות ורגולציה שנוגעת לאנרגיה גלומה. זאת משום שככל שהמדיניות בנושא אנרגיה אופרטיבית משיאה פרי ומביאה להפחתת פליטות, האנרגיה הגלומה הופכת להיות משמעותית יותר להשגת יעדי ההפחתה הלאומיים.

**אמצעי מדיניות:** המחקר בחן אמצעי מדיניות שנקטו בקנדה, הולנד, דנמרק, נורבגיה, צרפת, שוודיה וניו זילנד וברמה העירונית בלונדון ובוונקובר. אמצעי מדיניות מרכזי שנמצא הוא חיוב בביצוע הערכת מחזור חיים למבנים ובדיווח ההשפעות הסביבתיות מהם בקוד הבנייה הלאומי או תקנות הבנייה. בחלק מהמדינות נקבעו גם דרישות להפחתת פליטות או לעמידה ברף פליטות מקסימלי ובחלק אחר יש כוונה לקבוע דרישות כאלו בעתיד. מהלך זה מלווה בבנייה של תשתית מדעית מתאימה הכוללת גיבוש מתודולוגיה מקומית לביצוע הערכת מחזור חיים של מבנים, גיבוש אמות מידה ונתוני ייחוס, בנייה של מאגרי מידע לאומיים אודות ההשפעות הסביבתיות של חומרים, פרסום של מסמכי הנחיות ומדריכים, עדכון מפרטי בנייה ורכש ממשלתיים וגיבוש תמריצים.

**דרישות בכלי מדידה:** הדרישות הנוגעות בהערכת מחזור חיים של מבנים נכללות לרוב בפרקים שעוסקים בחומרים והן רלוונטיות עבור סוגים שונים של פרויקטים ושימושים. ההתייחסות לנושא נדרשת כבר בשלב התכנון המוקדם ואת הניתוח יש להשלים לפני קבלת היתר הבנייה. חלק מכלי המדידה מבקשים לעשות שימוש במודל להערכת מחזור חיים לאורך כל תהליך התכנון כך שניתן יהיה לשקף בקלות את ההשפעות הסביבתיות של שינויים תכנוניים לצוות התכנון בכל עת. הדרישות בכלי המדידה אינן מהוות תנאי סף אך הן מזכות בניקוד.

הניקוד מוענק על הוכחת הפחתה של ההשפעות הסביבתיות ביחס למבנה ייחוס המגובש על ידי צוות התכנון או ביחס לערכי ייחוס גנריים שהוגדרו על ידי כלי המדידה. ככל שהדרישה היא לגיבוש מבנה

ייחוס על ידי צוות התכנון, מפורטים דרישות ותנאים שנועדו להבטיח כי מבנה הייחוס יהיה בעל מאפיינים זהים למבנה מושא ההערכה. היקף ההפחתה הנדרש לקבלת ניקוד נע לרוב בין 10%-40%. ככל שההפחתה גבוהה יותר כך הניקוד גבוה יותר, כאשר הניקוד נע בין 4-8 נקודות בהתאם לכלי.

הניקוד ניתן לרוב הן עבור ביצוע הערכת מחזור חיים למבנה והן על הוכחת הפחתה ביחס למבנה ייחוס. היקף ההפחתה הנדרש לטובת קבלת ניקוד משתנה בין כלי המדידה ונע לרוב בין 10%-40%. ככל שההפחתה גבוהה יותר כך הניקוד גבוה יותר (בין 4-8 נקודות בהתאם לכלי המדידה). כל כלי המדידה כוללים דרישות ותנאים שנועדו להבטיח כי מבנה הייחוס יהיה זהה למבנה מושא ההערכה. בנושא זה ובנושאים מתודולוגיים נוספים כלי המדידה נשענים על התקינה הבינלאומית הרלוונטית – תקני ISO ותקן EN 15978.

תקופת השירות של מבנים כפי שמוגדרת על ידי כלי המדידה לטובת הניתוח היא לרוב 50 או 60 שנה. גבולות המערכת של הניתוח, קרי, שלבי מחזור החיים אליהם יש להתייחס, משתנים בין כלי המדידה השונים אך כולם מחייבים התייחסות לשלבי הייצור A1-A3. תוצאות הניתוח נמדדות לרוב בפרמטר של פוטנציאל התחממות גלובלית (GWP) אך ה-LEED וה-BREEAM מבקשים להתייחס גם לפרמטרים נוספים. לטובת ביצוע הניתוח ניתן לעשות שימוש במגוון כלי עזר שפותחו על ידי גופי ההסמכה עצמם או על ידי גופים חיצוניים ובכלל זה כלי תוכנה, מחשבוניים, מדריכים טכניים ומאגרי מידע המספקים מידע סביבתי אודות מוצרים וחומרים. האלמנטים המבניים אותם יש לכלול בניתוח משתנים בהתאם לכלי המדידה ובהתאם לדרישה.

**כלי תוכנה:** במקרים רבים, ניתוחי הערכת מחזור חיים למבנים מתבצעים בעזרת כלי עזר חישוביים או כלי תוכנה. המחקר סקר את כלי התוכנה המרכזיים בהם נעשה שימוש כיום בעולם כדי לעמוד בדרישות כלי מדידה לבנייה ירוקה. כלים אלו האיצו את המהירות שבה ניתן לבצע את הניתוחים והקלו מאוד על היכולת של צוותי תכנון ובנייה לעמוד בדרישות רגולטוריות בנושא. יחד עם זאת, כל כלי תוכנה עושה שימוש בטכניקות מידול, מאגרי מידע והנחות בסיס משלו. חלקם מותאמים למקומות פרטניים וחלקם יכול לשמש לביצוע ניתוחים במקומות שונים בעולם. כך למשל משלושת כלי התוכנה שנסקרו בעבודה זו רק אחד, OneClick, מותאם ככל הנראה לשוק הישראלי. חשוב להבין את המאפיינים של כל אחד מהכלים, השוני ביניהם והמגבלות של כל אחד. כמו כן חשוב להבין מהם מאגרי המידע שעליהם הם מתבססים. מחקרים שבוצעו בשנים האחרונות שבחנו מבנים זהים באמצעות כלי תוכנה שונים, גילו כי קיימים פערים משמעותיים בתוצאות. מהספרות עולה כי לא ניתן להשוות בין תוצאות של ניתוחים שבוצעו בכלים שונים או אפילו בין תוצאות של גרסאות שונות של אותו כלי. יחד עם זאת, על אף שהכלים מוגבלים ביכולתם לשקף באופן מלא את תנאי החיים האמיתיים, ניתן להגדיל את מהימנות התוצאות על ידי בחירת הכלי המתאים ביותר ועל ידי הקפדה על מידול מיטבי של הפרויקט בתוך הכלי. בנוסף, כלים חדשים יוצאים לשוק מעת לעת וכלים ישנים עוברים שדרוג ושכלול של יכולותיהם, כך שניתן להניח שיכולות הניתוח של כלי התוכנה ומידת הדיוק של התוצאות צפויות עוד להשתפר בעתיד.

**מגבלות מתודולוגיות:** שימוש במתודולוגיה להערכת מחזור חיים של מבנים הפכה לנפוצה במקומות רבים בעולם בזכות הגישה המקיפה והשיטתית להערכת השפעות סביבתיות. אימוץ מתודולוגיה זו על ידי מערכי הסמכה לבנייה ירוקה ועל ידי מדינות וגופים רגולטורים מסייעת בקידום הידע והעלאת המודעות אודות ההשפעות הסביבתיות ממבנים וכן מאפשרת לגופים ולרשויות לקדם אמצעים רגולטיביים במטרה לעמוד ביעדים סביבתיים. עם זאת, התחום נמצא בשלבי צמיחה ופיתוח והוא מתמודד עם סוגיות המקשות על יצירת תוצאות אמינות וניתנות להשוואה. תוצאת ניתוח הערכת מחזור

חיים תלויה מאוד בבחירות שנעשו, בתרחישים שנבנו ובהנחות שהונחו בעת תהליך המידול של האובייקט הנחקר. כאשר מיישמים ניתוח מסוג זה במערכת מורכבת ורבת אלמנטים כמו בניין, מספר הסוגיות שמחייבות התייחסות גבוה במיוחד, וכללי אצבע והנחות בהם נעשה שימוש בתהליך המידול מאבדים ממהימנותם. בין הסוגיות שנסקרו במחקר זה ניתן לציין: שונות בין מאגרי מידע, שוני בהגדרת משך חיי השירות של המבנה, שוני בהגדרת גבולות המערכת, שוני במרכיבי המבנה הנכללים בניתוח, שוני באופן ההגדרה של השטח לניתוח, פערים בתוצאות בין כלי תוכנה וקשיים מתודולוגיים בניתוח שלב D. יחד עם זאת, יש להניח כי ככל שהפרקטיקה הופכת לנפוצה יותר וככל שהמחקר בתחום מתקדם ומעמיק, כך היקף הסוגיות המתודולוגיות יפחת. בנוסף, מאמצים המתקיימים להאחדה בין מתודולוגיות שונות וליצירת פלטפורמות בין לאומיות (כגון ה-Level(s) האירופאי) עשוי לצמצם פערים, להקל על השוואה בין ניתוחים שונים ולהגדיל את מהימנות התוצאות בעתיד.

**הפרקטיקה בישראל:** הערכת מחזור חיים למבנים בישראל היא פרקטיקה נדירה למדי שיישומה החל רק בשנים האחרונות. הפרקטיקה מיושמת בעיקר במסגרת תהליכי התעדה של מבנים לדרישות ה-LEED אך גם מתוך עניין של חברות להבין את טביעת הרגל הסביבתית של פרויקט ולפעול לצמצומה. משיחות שבוצעו עם חברות שעוסקות ביעוץ לבנייה ירוקה והפחתת פליטות פחמן של מבנים, עולה כי לרוב הניתוח מתבצע במטרה לעמוד בדרישות ה-LEED. הניתוח מתבצע באמצעות תוכנת One Click, נערך פעם אחת בשלב הסופי של התכנון או לאחר תחילת הבנייה, ואינו מהווה שיקול בבחינת חלופות התכנון משום שקל יחסית לעמוד בדרישה ולקבל את הניקוד המקסימלי. ככל שמטרת הניתוח הינה להבין את טביעת הרגל הסביבתית של מבנה ולצמצם אותה, הניתוח יכול להתבצע גם באמצעות תוכנות אחרות מספר פעמים במהלך שלבי התכנון. במקרה כזה הניתוח יתרום ככל הנראה לבחירת חומרי הבנייה ולהשוואה בין חלופות תכנון. מטרת הניתוח גוזרת גם את המתודה בה יעשה שימוש, שלבי החיים שיכללו בניתוח, מרכיבי המבנה וכד'. ככל שהניתוח נעשה כדי לעמוד בדרישת ה-LEED ישנה מסגרת נוקשה למדי המסדירה את ההיבטים הללו, אך ככל שהניתוח נעשה שלא כדי לעמוד בדרישות רגולטיביות, קיים חופש יחסי להתאים את הפרקטיקה למטרות ניתוח משתנות.

## 10.2. אמצעי מדיניות לבחינה בישראל

על רקע ההבנה כי שינויי האקלים מהווים אתגר משמעותי, ובעקבות התגבשות של קואליציות בינלאומיות וחתימה על אמנות והסכמים בינלאומיים, גיבשה ישראל מדיניות להתמודדות עם השפעות שינויי האקלים ולהפחתת פליטות גזי חממה. זו באה לידי ביטוי במספר החלטות ממשלה בעקבותיהן גובשו ומיושמים אמצעי המדיניות. אמצעי המדיניות הנוגעים לענף הבנייה מטרותם להביא להפחתת צריכת האנרגיה במבנים חדשים ובבנייה קיימת, בין השאר על ידי בניית מבנים יעילים אנרגטית, התייעלות אנרגטית של מערכות, החלת דירוג אנרגטי במבנים והגדלת ייצור האנרגיה ממקורות מתחדשים.

אולם לא די בכל אלה, על מנת לעמוד ביעדי ההפחתה הגלובליים שנקבעו בוועידת פריז וביעדים הלאומיים שהוגדרו על ידי ממשלת ישראל, נדרש להטמיע בסקטור הבנייה גישה מעגלית אשר תסייע להגדיל את היעילות שבה נעשה שימוש באנרגיה ובחומרי גלם לאורך כל שרשרת הייצור של מבנים. יש צורך לקדם צעדי מדיניות שאפתניים שמתייחסים לשלבים השונים בשרשרת הייצור: שלבי התכנון והעיבוד, שלבי הבנייה והפיתוח, שלב התפעול ושלבי ההריסה או הפירוק. הטמעת פרקטיקה של הערכת מחזור חיים למבנים בישראל תסייע לשפוך אור על ההשפעות הסביבתיות של שלבי החיים השונים,

להגדיל את הידע המקצועי, להעלות מודעות בקרב אנשי המקצוע ומקבלי ההחלטות ולגבש אמצעי מדיניות מתאימים.

בהתבסס על הניסיון בעולם ועל ניצני הפרקטיקה בישראל מוצע לבחון קידום של כמה מהלכים :

#### **1) שינוי התקן הישראלי לבנייה ירוקה (ת"י 5281)**

התקן הישראלי לבנייה ירוקה במתכונתו הנוכחית אינו מתמרץ מדידה והפחתה של פליטות פחמן לאורך מחזור חייו של המבנה. על כן מוצע לבחון הכללת דרישה בתקן אשר תעניק ניקוד לפרויקטים עבור ביצוע הערכת מחזור חיים ומדידה ודיווח של הפליטות. מוצע כי הדרישה תעניק ניקוד נוסף עבור השגת הפחתה וזאת בדומה לכלי המדידה המובילים בעולם. הניקוד יכול להינתן בשתי דרכים עיקריות: עבור הפחתה ביחס למבנה או לנתוני ייחוס או עבור הפחתה ביחס לערך גנרי שהוגדר מראש. בתלוי בבחירה שתתבצע עשוי להתעורר צורך בגיבוש אמות מידה/ בנצ'מרקים שיגדירו ביצועים סביבתיים של מבנים טיפוסיים בישראל, ערכי סף לפליטות ממבנים (בדרך כלל ביחס לשטח המבנה במ"ר) או ערכי פליטות גנריים מחומרי בנייה עיקריים.

#### **2) בחינת החלת חובה הדרגתית לדיווח ולהפחתת פליטות**

רוב פרויקטי הבנייה החדשים בישראל מחויבים כיום לעמוד בדרישות התקן הישראלי לבנייה ירוקה (ת"י 5281) ברמה של כוכב אחד לפחות. החלת חובה זו מתבצעת באופן הדרגתי במסגרת פעימות. על כן, הטמעת דרישה לביצוע הערכת מחזור חיים בתקן לבנייה ירוקה עשויה לקדם באופן משמעותי את הפרקטיקה המעשית. יחד עם זאת, ככל והדרישה לא תוגדר כתנאי סף, אין לדעת מה היקף הפרויקטים שיבחרו לעמוד בה. על כן ניתן לבחון החלת חובה הדרגתית לדיווח ולהפחתת פליטות באמצעות הערכת מחזור חיים למבנים. בתחילה מוצע להטיל חובה על דיווח בלבד ובהמשך ניתן יהיה לקבוע יעדי פליטות מקסימליים או יעדי הפחתה. את יעדי הפחתה ניתן יהיה להחיל באופן הדרגתי בדומה לתהליך ההחלה של חובת העמידה בדרישות התקן לבנייה ירוקה.

#### **3) גיבוש מתודולוגיה והנחיות להערכת מחזור חיים של מבנים בישראל**

על בסיס התקינה הבינלאומית הרלוונטית, ותוך למידה של מתודולוגיות מקבילות מהעולם, מוצע לגבש ולפרסם מתודולוגיה להערכת מחזור חיים של מבנים בישראל. המתודולוגיה המקומית תסדיר את הפרקטיקה של הערכת מחזור חיים של מבנים בישראל, תסייע בהבנת הדרישות של התקינה הבינלאומית הרלוונטית ותגדיר הנחיות פרטניות המותאמות למאפיינים המקומיים. עדכון המתודולוגיה וההנחיות יתבצע מעת לעת בהתאם להתפתחויות של המתודולוגיה ושל התקינה בעולם ושל הפרקטיקה בזירה המקומית. מוצע כי בדומה למסמכים דומים בעולם, אשר חלקם נסקרו בתמציתיות בעבודה זו, המסמך יפרט את שיטת העבודה ואת המתודולוגיה בה יש לעשות שימוש, יכלול הסברים ביחס לאופן ביצוע החישובים והמידע אותו יש לדווח, ויכלול מידע אודות עקרונות תכנון אותם כדאי לקחת בחשבון בתהליך התכנון של הפרויקט שיהוו כלי עזר בידי אנשי המקצוע. כמו כן מוצע כי המסמך יתייחס לתוכנות ולכלי עזר בהם ניתן לעשות שימוש לביצוע הניתוח, שלבי מחזור החיים אותם יש לבחון, האלמנטים של הבניין אותם יש לקחת בחשבון, משך חיי השירות של הבניין, תזמון הבדיקה או תזמון הגשת הממצאים לגורם הרגולטורי, אופן ביצוע השוואה למבנה ייחוס או לערכי בסיס וכיו"ב.

#### **4) בניית מאגר מידע לאומי לחומרי ומוצרי בנייה**

בישראל אין כיום מאגר מידע מוסדר ורשמי אודות ההשפעות הסביבתיות מחומרים ומוצרים. מידע מסוים ניתן למצוא באתר '[הקטלוג](#)' המנוהל על ידי המועצה הישראלית לבנייה ירוקה (מלכ"ר) ובאתר

האינטרנט של [חברת SID](#) שבניהול פרטי, אך הם מוגבלים בהיקף המידע המונגש, ביכולות החיפוש וניתוח המידע המתאפשר על ידי ממשק המשתמש, ובתדירות עדכון המידע. כיום פועל המשרד להגנת הסביבה לבניית מאגר מידע רשמי אשר יאגד את כלל המידע הסביבתי (LCA ו-EPD) שקיים עבור מוצרי בנייה בישראל. בהתבסס על הניסיון בעולם, מוצע כי מאגר המידע ייבנה כך שיכלול ממשק עבודה מתקדם המאפשר נוחות עבודה עבור המשתמשים ותאימות לכלי תוכנה. מוצע כי הגישה למאגר המידע תהיה פתוחה לכל המעוניין ללא עלות. לטובת קידום המהלך מוצע לבצע מחקר הכולל סקירה של מאגרי מידע מובילים בעולם, בחינה שלהם על בסיס פרמטרים שונים (מקורות המידע, ארגון המידע, ממשק המשתמש, תהליכי עבודה ובקרה וכיו"ב) ויגזור מסקנות ותובנות שיסייעו לבנייה של מאגר מידע ישראלי.

#### **5) בחינת התאמתם של כלי תוכנה בינ"ל ובחינת הצורך והאפשרות לפתח כלי מתאים לישראל**

בעבודה זו נסקרו שלושת כלי התוכנה הבולטים כיום לביצוע הערכת מחזור חיים במטרה לעמוד בדרישות של כלי מדידה לבנייה ירוקה. מבין כלי התוכנה שנסקרו, הכלי היחיד הרלוונטי כיום לישראל הוא ה-One Click LCA. שני הכלים הנוספים שנסקרו מותאמים לצפון אמריקה בלבד. One Click LCA הוא כלי תוכנה וותיק יחסית והוא נמצא בשימוש נפוץ, אך הסתמכות על תוכנה אחת שעשויה להוות 'מונופולי' אינה מומלצת. יתכן וישנם כלי תוכנה נוספים בהם ניתן לעשות שימוש בישראל, וכן יתכן וישנם כלי תוכנה רלוונטיים שנמצאים כיום בפיתוח ויהיו זמינים בעתיד. כך למשל בשנת 2023 הושק מחדש כלי התוכנה [eTool](#) האוסטרלי, אשר במקור הותאם לפרקטיקה הנהוגה באוסטרליה ובניו זילנד ולעמידה בדרישות כלי המדידה האוסטרלי Green Star, אך לאחרונה פורסם כי הוא עבר שינויים והותאם לשימוש בינלאומי. על כן, בהמשך לסקירה הראשונית המובאת בעבודה זו, מוצע לערוך סקר מעמיק של כלי התוכנה הרלוונטיים עבור ישראל כולל בחינה של מאפיינים מרכזיים, יכולות, יתרונות וחסרונות, מגבלות וכיו"ב. מוצע כי בהמשך לסקר יבוצע פיילוט במסגרתו תתבצע התנסות מעשית בעבודה עם כלי התוכנה שיימצאו רלוונטיים ושממנו ייגזרו משמעויות ומסקנות. בהמשך לכך יש לבחון האם יש צורך, עניין או אפשרות לפתח כלי תוכנה ייעודי המותאם לישראל.

#### **6) פיתוח חומרי עזר והסברה**

קידום התחום והטמעתו בשוק מלווה לרוב בפיתוח מגוון חומרי הסברה, מדריכים והכשרות הזמינים ללא עלות ברשת. עם פיתוח הנושא בישראל חשוב ללוות את התהליך בפיתוח ובפרסום חומרי עזר והסברה מתאימים. אלו נועדו ליידע, להדריך ולהעלות מודעות בקרב קהלי היעד הרלוונטיים – אנשי המקצוע וקובעי מדיניות. בין השאר מדובר בקורסים מקוונים, ימי עיון, הרצאות מוקלטות, מסמכי הנחיות ועוד. החומרים יכולים להיות מפותחים על ידי גופים רלוונטיים במגזר הציבורי, גופים בעלי מומחיות במגזר הפרטי, מכוני מחקר וארגונים ללא כוונת רווח.

לבסוף, על אף שהערכת מחזור חיים למבנים זוכה לפופולריות הולכת וגדלה בעולם, ועל אף יתרונותיה שנסקרו בעבודה זו, חשוב לזכור כי היא לא חפה מבעיות והיא אינה מהווה תחליף לאמצעי מדיניות קיימים או לרגולציה סביבתית הקיימת. על אף שהערכת מחזור חיים היא פרקטיקה אשר הופכת ליותר ויותר שיטתית וסדורה, ניתן להניח כי גם בעתיד יהיו אי ודאויות הקשורות לתוצאות. הסיבה לכך היא שהתהליך כולל הנחות לגבי שיקולים עתידיים ושימוש בכמות גדולה של נתונים ממקורות שונים. חשוב לזכור כי למרות מידת הדיוק הגבוהה שבה מוצגות התוצאות, הן מהוות הערכה בלבד. התוצאות מצביעות על השפעות סביבתיות אפשריות ואינן חוזות את ההשפעה הסביבתית של המבנה בפועל. על כן,

ביצוע הערכת מחזור חיים למבנה אינו תחליף לבחינה של המבנה בזוויות סביבתיות מגוונות כפי שנעשה על ידי כלי מדידה לבנייה ירוקה. יש לראות במתודולוגיה להערכת מחזור חיים של מבנה כשיטת ניתוח המאפשרת לחשוף, להבין ולפעול לצמצום ההשפעה הסביבתית של המבנה בשלבים שונים של מחזור חייו, לזהות 'נקודות חמות', וכאמצעי נוסף ויעיל למדי להשוואה בין ההשפעות הסביבתיות של חלופות תכנון שונות. בהקשר זה, יש לפעול לכך שהפרקטיקה בישראל אכן תממש את הייעוד המרכזי של מתודולוגיה זו כאמצעי להפחתת פליטות על ידי שינויים בתכנון או בבחירת חומרי הבנייה, ולא תהווה דרך קלה לעמידה בדרישות רגולטיביות או בדרישות של כלי מדידה לבנייה ירוקה.

פלדי נדב, קידום כלי מדיניות למדידה ולהפחתה של הפחמן המגולם בענף הבנייה בישראל, המשרד להגנת הסביבה ומרכז מילקן לחדשנות, 2022. ([קישור](#))

Alex Benstead & Clare Wilde, Embodied carbon: Improving your modelling and reporting, UKGBC, 2023. ([Link](#))

ASTM E2921-22: Standard Practice for Minimum Criteria for Comparing Whole Building Life Cycle Assessments for Use with Building Codes, Standards, and Rating Systems. ([Link](#))

Athena Sustainable Materials Institute, Athena Impact Estimator for Buildings, User Manual and Transparency Document, Impact Estimator for Buildings v.5, 2019. ([Link](#))

Bech-Bruun, New climate requirements in the building regulations, December 2022. ([Link](#))

BRE Centre for Sustainable Products, The IMPACT database. ([Link](#))

BREEAM New Construction 2018 (UK) Technical Manual, Mat 01: Environmental impacts from construction products - Building life cycle assessment (LCA). ([Link](#))

Catherine De Wolf et al, Whole life cycle environmental impact assessment of buildings: Developing software tool and database support for the EU framework Level(s), Resources, Conservation and Recycling, Volume 188, January 2023.

Chang-U Chae et al, World Building Life-Cycle Based Databases and Repositories for the Building and Construction Sector, International Energy Agency, February 2023. ([Link](#))

City of Vancouver, building catalyst tools, zero emissions building tools. ([Link](#))

City of Vancouver, Embodied Carbon Guidelines, Version 0.3 – DRAFT for External Review. ([Link](#))

City of Vancouver, Zero Emissions Buildings ([Link](#))

DGNB System – New buildings criteria set version 2020 international, ENV1.1 Building life cycle assessment. ([Link](#))

EN 15978:2011: Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method ([Link](#))

Énergie Positive & Reduction Carbon Label, List of software tools available. ([Link](#))

Énergie Positive & Reduction Carbon Label, Scope of Application. ([Link](#))

Énergie Positive & Reduction Carbon Label. ([Link](#))

ETool Knowledge Base, Choosing Your System Boundary and Scope. ([Link](#))

European Commission, Joint Research Center, list of LCA tools and databases, V.4.1. ([Link](#))

European Commission, Level(s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings. ([Link](#))

European Commission, Level(s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings, User manual 2: Setting up a project to use the Level(s) common framework, 2021. ([Link](#))

European Commission, Level(s) indicator 1.2: Life cycle Global Warming Potential (GWP) User manual. ([Link](#))

Freja Nygaard Rasmussen et al, The choice of reference study period in building LCA – case-based analysis and arguments, IOP Conference Series Earth and Environmental Science, 2020. ([Link](#))

Government of Canada, Platform to Decarbonize the Construction Sector at Scale ([Link](#))

Government of Canada, Standard on Embodied Carbon in Construction ([Link](#))

Haibo Feng et al, Exploring the current challenges and emerging approaches in whole building life cycle assessment, Canadian Journal of Civil Engineering 49(2), April 2021.

Haibo Feng et al, Uncertainties in whole-building life cycle assessment: A systematic review, Journal of Building Engineering, Vol. 50, 2022. ([Link](#))

ISO 14025: Environmental labels and declarations - Type III environmental declarations Principles and procedures ([Link](#))

ISO 14040: Environmental management Life cycle assessment - Principles and framework ([Link](#))

ISO 14044: Environmental management Life cycle assessment - Requirements and guidelines ([Link](#))

ISO 21930: Sustainability in buildings and civil engineering works - Core rules for environmental product declarations of construction products and services ([Link](#))

ISO 21931-1:2022: Sustainability in buildings and civil engineering works — Framework for methods of assessment of the environmental, social and economic performance of construction works as a basis for sustainability assessment — Part 1: Buildings. ([Link](#))

Kathrina Simonen et al., Life Cycle Assessment of Buildings: A Practice Guide, The Carbon Leadership Forum, Department of Architecture, University of Washington ,2019. ([Link](#))

LEED BD+C: New Construction v4.1. ([Link](#))

LEED v4.1 Building Design and Construction, Getting started guide for beta participants, November 2020.

Level(s) – A common EU framework of core sustainability indicators for office and residential buildings, User Manual 1: Introduction to the Level(s) common framework, European Commission, 2021. ([Link](#))

Level(s) Website - eLearning and tools ([Link](#))

Level(s) Website - How Does Level(s) Work ([Link](#))

Life Cycle Assessment Practice to Estimate Embodied Carbon in Buildings, Zero Emissions Building Exchange, University of British Columbia, 2021.

Marcella Ruschi Mendes Saade et al, Comparative whole building LCAs: How far are our expectations from the documented evidence? Building and Environment, Volume 167, 2020.

Matthew Bowick et al, National guidelines for whole-building life cycle assessment, National Research Council Canada, 2022. ([Link](#))

Mayor of London, London Plan Guidance, Whole Life-Cycle Carbon Assessments, 2022. ([Link](#))

Mayor of London, London Plan, Policy SI 2 - Minimizing greenhouse gas emissions, 2021. ([Link](#))

Ministere de L'environnement, de l'énergie et de la Mer, Référentiel Energie-Carbone pour les bâtiments neufs, Niveaux de performance Energie – Carbone pour les bâtiments neufs, 2016. ([Link](#))

Ministry of Ecological Transition and Territorial Cohesion, RE2020 environmental regulations, 17.2.23. ([Link](#))

The Dutch National Environmental Database (NMD), MPG Database ([Link](#))

Nargessadat Emami et al, A Life Cycle Assessment of Two Residential Buildings Using Two Different LCA Database-Software Combinations: Recognizing Uniformities and Inconsistencies, Buildings 9(1), 2019.

New Zealand Government, Whole-of-Life Embodied Carbon Assessment: Technical Methodology, Ministry of Business Innovation & Employment, 2022. ([Link](#))

New Zealand Government, Whole-of-Life Embodied Carbon Emissions Reduction Framework, Ministry of Business Innovation & Employment, 2020. ([Link](#))

Nordic Sustainable Construction Website. ([Link](#))

OneClick LCA Website. ([Link](#))

OneClick LCA, calculation tools and add-ons for building LCA assessments. ([Link](#))

OneClick LCA, Construction Carbon Regulations in Europe: Review & Best Practices, 2022. ([Link](#))

OneClick LCA, Green Star Buildings Australia. ([Link](#))

Panu Pasanen et al, The Embodied Carbon Review: Embodied Carbon Reduction in 100+ Regulations & Rating Systems Globally, OneClick LCA, 2018. ([Link](#))

Paul Astle et al, Comparing differences in building life cycle assessment methodologies, Ramboll, 2023. ([Link](#))

R Frischknecht, H Birgisdottir, Ch U Chae, T Lützkendorf, A Passer, Comparison of the environmental assessment of an identical office building with national methods. Sustainable Built Environment Conference 2019, Sep 2019, Graz, Austria. ([Link](#))

Simon Sturgis et al, Whole life carbon assessment for the built environment: Professional standard, Royal Institution of Chartered Surveyors (RICS), London, 2023. ([Link](#))

Tally Website. ([Link](#))

Teuffel Engineering Consulting, MPG – Environmental Performance of Buildings and the Sustainability of Constructions ([Link](#))

Thibaut Abergel, Brian Dean and John Dulac, The Global Status Report 2017, the Global Alliance for Buildings and Construction, 2017. ([Link](#))

Thomas Lützkendorf, Context-specific assessment methods for life cycle-related environmental impacts caused by buildings, International Energy Agency, 2023. ([Link](#))

Tytti Bruce-Hyrkäs et al, Overview of Whole Building Life-Cycle Assessment for Green Building Certification and Ecodesign through Industry Surveys and Interviews, 25th CIRP Life Cycle Engineering (LCE) Conference, April 2018, Copenhagen, Denmark.

Yue Teng, Comparing Life Cycle Assessment Databases for Estimating Carbon Emissions of Prefabricated Buildings, Construction Research Congress 2018.

## ראיונות

אדרי' לורל דורפמן, יועצת בנייה ירוקה ומנהלת פרויקטים, אלפא פרויקטים ירוקים בע"מ

ד"ר נעמה ולד, מרכזת בכירה אנרגיה ושינוי אקלים, המשרד להגנת הסביבה

דן שאיוב, מנהל פרויקטי קיימות, המרכז להתייעלות במשאבים

נחי ברוט, שותף ומנכ"ל, KVS

שי בן אהרון, מנהל צוות תעשייה וחברות, KVS

המשרד להגנת הסביבה



الوزارة لحماية البيئة  
Israel Ministry of Environmental Protection

ILGBC  
המועצה הישראלית  
לבנייה ירוקה

